



**UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

***Caracterización de la ceniza volcánica del Tungurahua para la
fabricación de un aglomerante Cal- puzolana***

**AUTORES: ANGEL ERNESTO SUÁREZ AVILA
 MARCELO PAUL URGILES CABRERA**

TUTOR: Ing. JORGE ACEVEDO CATÁ, PhD

**MONOGRAFÍA PREVIA A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**CUENCA – ECUADOR
2010**



RESUMEN

El presente trabajo considera el estudio de las características de la ceniza volcánica del Tungurahua, determinando su actividad puzolánica por el método de la cal. Como aplicación se elaboraron morteros con aglomerante cal-puzolana como sustituto del cemento en porcentajes del 20%, 30% y 40% verificando cuales son las variaciones respecto a un mortero patrón constituido únicamente con cemento como aglomerante

PALABRAS CLAVE; puzolana, actividad puzolánica, caracterización, Tungurahua, morteros de albañilería



INDICE

1. FUNDAMENTACION TEORICA	5
1.1. INTRODUCCION	5
1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACION	5
1.3. HIPOTESIS	6
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	6
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	6
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	6
1.5. PUZOLANA	7
1.5.1. DEFINICION	7
1.5.2. ORIGEN E HISTORIA	7
1.5.3. TIPOS	8
1.5.3.1. PUZOLANAS NATURALES	8
1.5.3.2. PUZOLANAS ARTIFICIALES	9
1.5.4. PROPIEDADES.....	9
1.5.5. PRINCIPALES USOS.....	12
1.6. USOS DE LA PUZOLANA EN OBRAS CIVILES.....	15
1.7. PUZOLANAS EXISTENTES EN EL ECUADOR.....	21
2. CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES.....	24
2.1. CENIZAS DEL TUNGURAHUA.....	24
2.2. CARACTERISTICAS DE LA CENIZA VOLCANICA DEL TUNGURAHUA.....	25
2.3. PROPIEDADES DE LA CENIZA VOLCANICA DEL TUNGURAHUA.....	26
2.3.1. PROPIEDADES FISICAS.....	26
2.3.2. PROPIEDADES QUIMICAS.....	27
2.4. PROPIEDADES MINERALOGICAS.....	27
2.5. ENSAYOS REALIZADOS A LA CENIZA VOLCANICA.....	28
2.5.1. GRANULOMETRIA DE LA CENIZA.....	28
2.5.2. DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO.....	31
2.6. ENSAYOS REALIZADOS A LA ARENA.....	32
2.6.1. ANALISIS GRANULOMETRICO	32
2.6.2. PESO ESPECÍFICO	35
2.6.3. PESO VOLUMETRICO	38
2.6.4. ABSORCION.....	40
2.6.5. HUMEDAD.....	40
2.6.6. MATERIAL MÁS FINO QUE EL TAMIZ 200.....	41
2.7. CARACTERISTICAS DEL CEMENTO.....	42
2.8. CARACTERISTICAS DE LA CAL.....	43

3.	DISEÑO DEL EXPERIMENTO.....	44
3.1.	ESTUDIO INICIAL	44
3.1.1.	CONFECCION DEL MORTERO	44
3.1.2.	DIMENSIONES DE LAS PROBETAS A REALIZAR.....	46
3.1.3.	FABRICACION DE LAS PROBETAS.....	47
3.1.4.	DESENCOFRE Y CURADO.....	47
3.2.	MORTERO DE CAL PUZOLANA.....	49
3.2.1.	DOSIFICACION NORMA ASTM C 593.....	49
3.2.2.	CANTIDAD DE PROBETAS CONFECCIONADAS.....	49
3.2.3.	IDENTIFICACION DE LAS PROBETAS.....	49
3.3.	MORTERO DE ALBANILERIA Y MORTERO DE SUSTITUCION CAL PUZOLANA	50
3.3.1.	DOSIFICACION.....	50
3.3.2.	CANTIDAD DE PROBETAS CONFECCIONADAS.....	50
3.3.3.	IDENTIFICACION DE LAS PROBETAS.....	51
3.4.	ENSAYOS REALIZADOS AL MORTERO EN ESTADO ENDURECIDO.....	51
3.4.1.	DENSIDAD SATURADA SIN HUMEDAD SUPERFICIAL	51
3.4.2.	ABSORCION CAPILAR.....	52
3.4.3.	RESISTENCIA A FLEXOTRACCION Y RESISTENCIA A COMPRESION.....	53
3.4.4.	PORCENTAJE DE ABSORCION Y POROSIDAD.....	54
4.	RESULTADOS DE LA TAREA EXPERIMENTAL.....	55
4.1.	ENSAYO DE DENSIDAD.....	55
4.2.	RESISTENCIA A LA COMPRESION	56
4.2.1.	MORTERO CAL PUZOLANA.....	56
4.2.2.	MORTERO DE ALBAÑILERIA Y MORTEROS DE SUSTITUCION.....	56
4.2.2.1.	RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION Y LAS EJEMPLOS DE ROTURA.....	56
4.2.2.2.	CRECIMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CADA EDAD CON RESPECTO A LOS TRES DIAS.....	58
4.2.2.3.	RELACION ENTRE LOS VALORES DE RESISTENCIA DE CADA MORTERO CON RESPECTO AL PATRON.....	58
4.3.	RESISTENCIA A FLEXOTRACCION.....	59
4.3.1.	MORTERO CAL –PUZOLANA.....	59
4.3.2.	MORTERO DE ALBAÑILERIA Y MORTEROS DE SUSTITUCION.....	59
4.3.2.1.	RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A FLEXOTRACCION Y LAS EJEMPLOS DE ROTURA.....	59
4.4.	ENSAYO DEL PORCENTAJE DE ABSORCION DE AGUA Y POROSIDAD.....	60
4.5.	ENSAYO DE ABSORCION CAPILAR.....	62
4.6.	VALORACION ECONOMICA DE LOS MORTEROS DE ALBAÑILERIA Y MORTEROS DE SUSTITUCION POR AGLOMERANTE CAL PUZOLANA.....	63
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXOS	



1. FUNDAMENTACION TEORICA

1.1.INTRODUCCION

La puzolana es uno de los materiales más antiguos en la construcción habiéndose usado combinada con distintos aglomerantes, entre ellos cales, en obras hidráulicas por griegos y romanos. Estructuras famosas como el Coliseo y el Panteón -en Roma- se trabajaron con un material constituido por puzolana, cal y piedra. Se dice que en la edad media la calidad de la construcción desmejoró por no usarse tobas volcánicas.

En nuestro siglo su uso se hizo extensivo en Europa, al constatarse las características de impermeabilidad y de resistencia a la acción de aguas dañinas, especialmente en Italia, desarrollándose los primeros cementos puzolánicos.

En los Estados Unidos a partir de 1940, se inició el estudio de los materiales puzolánicos, cuando se estableció su acción benéfica sobre la reacción álcali-agregado. Posteriormente, en los últimos años, el Bureau of Reclamation la ha empleado en todos sus proyectos de presas, explotando directamente las canteras de puzolana para unir con el cemento en las mezcladoras.

Se desea dejar caracterizada la ceniza volcánica del Tungurahua puzolana, para que pueda ser considerada su utilización en algún proceso de construcción para uso cementante como opción en la búsqueda de un nuevo material puzolánico, que reemplace en forma parcial el uso del cemento portland y la cal hidratada.

1.2.PROBLEMA DE INVESTIGACION

Existen varios materiales de tipo puzolánico en nuestro país, sin embargo por falta de conocimiento y estudio de los mismos, no se ha podido incorporarlos en el campo constructivo en una magnitud tal que su uso represente un beneficio económico y medioambiental. Es por ello que hemos propuesto esta investigación, estudiando las características físicas y químicas de la ceniza volcánica del Tungurahua, material que puede presentar características puzolánicas importantes para la ingeniería civil. Dicho material fue seleccionado para nuestro estudio, debido a que el volcán Tungurahua inició un proceso eruptivo desde el año 1999 y se mantiene activo hoy en día, el volumen de ceniza emitido es considerable y merece estudiarse para verificar si puede considerarse un material puzolánico; de ser así se potenciaría la explotación de un recurso natural que ha impulsado los avances en las técnicas de construcción a lo largo de la historia.



Las puzolanas se emplean en el campo de la construcción con los siguientes fines: fijar la cal liberada de los silicatos del cemento, en forma de componentes estables y no solubles y mejorar la durabilidad del concreto, especialmente en obras sometidas a la filtración del agua. También se emplean como producto de adición en la fabricación de cementos, o directamente en la del concreto, para reducir el calor de hidratación.

En la fabricación de hormigones se ha empleado para distintos fines de acuerdo al tipo de hormigón y obra a construir. Las mezclas de hormigón con puzolana ofrecen más comodidad para colocarse en los encofrados, producen concretos más plásticos, generan menos calor de hidratación y posibilitan concretos más impermeables, pero en contraposición requieren más agua de mezcla que los hormigones normales para la misma consistencia y exhibe mayor retracción durante la hidratación. Generalizando que en las mezclas ricas la resistencia a la compresión es más baja en los concretos puzolánicos pero que en los diseños pobres, luego de un cierto tiempo, los concretos puzolánicos adquieren mayor resistencia que los normales.

1.3. HIPOTESIS

La ceniza volcánica del Tungurahua cuando se ensaya de acuerdo a la norma ASTM C593 tiene una resistencia por encima de los 4,1 MPa a los 7 días

La sustitución de cemento por ceniza volcánica (puzolana) y cal hasta un 20 % no disminuye resistencia ni la durabilidad del mortero a los 28 días.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las características físicas y químicas de la ceniza volcánica del Tungurahua para la fabricación de un aglomerante Cal- puzolana que permita sustituir hasta un 20 % del cemento Portland en los morteros de albañilería manteniendo las propiedades requeridas y ser más económicos

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar la actividad puzolánica de la ceniza volcánica del Tungurahua de acuerdo a la norma ASTM C 593
- Determinar las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad de los morteros de albañilería comunes y de esos mismos morteros con



sustitución de 20, 30 y 40 % de cemento Portland por aglomerante cal-puzolana.

- Realizar una valoración económica entre los morteros de albañilería con cemento Portland y los que se le ha sustituido una parte por aglomerante cal puzolana

1.5. PUZOLANA

1.5.1. DEFINICION

La Puzolana es el nombre que recibe la ceniza volcánica, que proviene de la población de Puzzuoli (Italia), en las faldas del Vesubio. Según la ASTM la puzolana es el material silíceo que no siendo aglomerante por sí mismo -o en muy baja magnitud- contiene elementos que se combinan con la cal en presencia del agua, a temperaturas ordinarias, formando compuestos de escasa solubilidad que presentan propiedades aglomerantes.

1.5.2. ORIGEN E HISTORIA

La Puzolana proviene de la población de Puzzuoli, en las faldas del Vesubio, donde ya era explotada en tiempos de los romanos. Posteriormente el término fue extendiéndose a todos aquellos materiales que por sus propiedades similares a la Puzolana de origen natural podían tener usos sustitutivos.

La civilización romana fue la que descubrió todo el potencial que estos materiales podían ofrecer. Uno de los mejores exponentes que podemos encontrar es el Panteón de Roma (Fig. 1). Construido en el año 123, fue durante 1.500 años la mayor cúpula construida, y con sus 43,3 metros de diámetro aun mantiene records como ser la mayor construcción de hormigón no armado que existe en el mundo Esta construcción fue realizada mezclando cal, puzolana y agua. Otro Ejemplo es el Coliseo de Roma (Fig.1)



Fig. 1 Obras del Imperio Romano



En algunas ciudades europeas, fue utilizada en la construcción de murallas (Fig.2) mezclándola con cal, y recuerdan más a un moderno bunker de hormigón que a murallas medievales.



Fig. 2 Muralla Cristiana (España - 1356)

1.5.3. TIPOS

1.5.3.1. PUZOLANAS NATURALES

- Rocas volcánicas, en las que el constituyente amorfo es vidrio producido por enfriamiento brusco de la lava. Por ejemplo las cenizas volcánicas, la piedra pómez, las tobas, la escoria y obsidiana.
- Rocas o suelos en las que el constituyente silíceo contiene ópalo, ya sea por la precipitación de la sílice de una solución o de los residuos de organismos de lo cual son ejemplos las tierras de diatomeas, o las arcillas calcinadas por vía natural a partir de calor o de un flujo de lava.



Fig. 3 Puzolanas Naturales



1.5.3.2. PUZOLANAS ARTIFICIALES

- Cenizas volantes: las cenizas que se producen en la combustión de carbón mineral (lignito), fundamentalmente en las plantas térmicas de generación de electricidad.
- Arcillas activadas o calcinadas artificialmente: por ejemplo residuos de la quema de ladrillos de arcilla y otros tipos de arcilla que hayan estado sometidas a temperaturas superiores a los 800 °C.



Fig. 4 Ladrillos de Bloque sólido combustible siendo incinerados para producir ceniza con características puzolánicas

- Escorias de fundición: principalmente de la fundición de aleaciones ferrosas en altos hornos. Estas escorias deben ser violentamente enfriadas para lograr que adquieran una estructura amorfa.
- Cenizas de residuos agrícolas: la ceniza de cascarilla de arroz, ceniza del bagazo y la paja de la caña de azúcar. Cuando son quemados convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión.

1.5.4. PROPIEDADES

Las propiedades de las puzolanas dependen de la composición química y la estructura interna. Se prefiere puzolanas con composición química tal que la presencia de los tres principales óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) sea mayor del 70%. Se trata que la puzolana tenga una estructura amorfa.



En el caso de las puzolanas obtenidas como desechos de la agricultura (cenizas de la caña de azúcar y el arroz), la forma más viable de mejorar sus propiedades es realizar una quema controlada en incineradores rústicos, donde se controla la temperatura de combustión, y el tiempo de residencia del material.

Como referencia, indicamos las propiedades físicas y químicas que generalmente tienen las puzolanas.

Tabla 1. Propiedades Físicas

Ph	7
Punto de Fusión	800-900°C
Punto de Inflamabilidad	No Inflamable
Aspecto Físico	Sólido
Forma	Granulado o en Rocas
Colores	Rojizo-Rosado o Negro
Olor	Inodora
Solubilidad en Agua	Insoluble

Composición Química

Tabla 2. Propiedades Químicas

Elemento	% Sobre la masa total
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	65%
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	14%
Óxido de Calcio (Ca O)	5%
Óxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	4%
Óxido de Potasio (K ₂ O)	3%
Otros Óxidos (**)	9%

Las puzolanas son materiales silíceos o aluminio-silíceos, compuestas principalmente por Aluminosilicatos (Dióxido de Silicio, SiO₂ + Óxido de Aluminio, Al₂O₃): que alcanzan entre un 76% y 82%, según el tipo de puzolana.

También contienen Oxido Férrico (Fe₂O₃), Oxido de Calcio (Ca O) y Óxido de Potasio (K₂O), los que, en conjunto con los dos elementos anteriores, (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ + Ca O + K₂O) componen entre un 85% y 95% de la masa total de la puzolana.



El restante 5% a 15% de la puzolana está compuesta por otros diversos tipos de Oxido, como el de Magnesio (MgO), de Sodio (Na_2O), de Potasio (K_2O), de Titanio (TiO_2), de Fósforo (P_2O_5) y de Manganeseo (Mn_2O_3), tal como se muestra en la siguiente tabla genérica.

ACTIVIDAD PUZOLANICA

La actividad puzolánica se refiere a la cantidad máxima de hidróxido de calcio con la que la puzolana se puede combinar y la velocidad con la cual ocurre esta reacción. Este fenómeno responde a un principio general. Dicho principio se basa en que la sílice y la alúmina, como componentes ácidos de materiales puzolánicos, reaccionan con la cal y como consecuencia estas uniones en dichos materiales resultan inestables (se transforman fácilmente en otros).

Puzolana + Cal + Agua \rightarrow Silicatos y Aluminatos de Calcio hidratados

La actividad puzolánica depende: de la naturaleza y proporción de las fases presentes en la puzolana (composición mineralógica), de la relación cal – puzolana de la mezcla, de la finura (o superficie específica) de la puzolana y de la temperatura de la reacción.

Los productos de reacción puzolana/cal generalmente son del mismo tipo que los productos de hidratación del Cemento Pórtland: Silicatos Cálcicos Hidratados (CSH), Aluminatos Cálcicos Hidratados (CAH) y Sílico - Aluminatos Cálcicos Hidratados (CSAH).

Las propiedades técnicas de los materiales con adiciones puzolánicas, se derivan, principalmente de tres características de la reacción puzolánica.

1. Es una reacción lenta, al contrario que la reacción de hidratación del cemento que es rápida, por tanto, la velocidad de liberación del calor y el desarrollo de resistencias serán procesos más lentos.
2. Es una reacción que consume Hidróxido de Calcio en vez de generarlo, lo que es importante para la durabilidad de las pastas hidratadas en ambientes ácidos.
3. Al producirse en un tiempo posterior los productos de reacción rellenan, de forma muy eficiente, los espacios capilares que quedan después de la hidratación de los componentes del cemento.



Norma ASTM C-593: *Standard specification for fly ash and other pozzalans for use with lime*, (Norma de especificación estándar de puzolanas y cenizas volantes para usarlas con cal).

Esta especificación establece los procedimientos para la evaluación de cenizas volantes, puzolanas artificiales y naturales, para usarlas en mezclas de morteros con cal mediante análisis físico mecánico y químico.

La norma indica la siguiente dosificación

Tabla 3. Dosificación Norma ASTM C 593

Material	Pesos (gr.)
Puzolana	360
Arena	1480
Cal	180

La mezcla indica que se debe obtener un mortero con una fluidez constante de 110 ± 5 mm.

La ceniza y la cal debieron ser bien mezcladas en un recipiente cerrado para lograr un material homogéneo

La reacción de la cal con la puzolana produce una disminución del hidróxido cálcico, no siendo atacada por los sulfatos, al formarse silicatos y aluminatos cálcicos hidratados que dejan geles de sílice y alumina

Esta norma dice que si a la edad de 7 días el mortero cal-puzolana ofrece resistencias de 4.1MPa, se considera que el material tiene actividad puzolánica

1.5.5. PRINCIPALES USOS

USOS COMO ADITIVO AL CEMENTO

Hoy en día, existen múltiples usos que pueden darse a la Puzolana, si bien de entre todos ellos destaca la fabricación de cemento Pórtland Puzolánico.). El cemento Pórtland puede contener hasta un 35% de Puzolana, y hasta un 55% si es cemento Puzolánico.

Las ventajas que ofrece el cemento puzolánico sobre el resto se detallan a continuación:

- Mayor defensa frente a los sulfatos y cloruros.
- Mayor resistencia frente al agua de mar.



- Aumento de la impermeabilidad ante la reducción de grietas en el fraguado.
- Reducción del calor de Hidratación.
- Incremento en la resistencia a la compresión.
- Incrementa la resistencia del acero a la corrosión.
- Aumenta la resistencia a la Abrasión.
- Aumento en la durabilidad del cemento.
- Disminuye la necesidad de agua.



Fig. 5 Uso en la elaboración de bloques de Hormigón

La base de todas estas mejoras es el denominado “Efecto Puzolánico” en el cemento. Los Aluminosilicatos presentes en la puzolana, reaccionan con el Hidróxido de Calcio liberado en la hidratación del cemento Pórtland. Esto se realiza en una reacción lenta (que disminuye el calor), consume el Hidróxido de Calcio (lo que mejora su resistencia frente a ambientes ácidos), y al realizarse la reacción rellenan los espacios resultantes de la reacción de hidratación del cemento (lo que aumenta la impermeabilidad y la resistencia mecánica).

Para hacer frente a la reacción con los sulfatos que degradan la calidad del cemento, se añade la Puzolana. Ésta, se compone de Aluminosilicatos que reaccionan contrarrestando la acción de los sulfatos.

Tal como se ha dicho hasta ahora, existen otros materiales que tienen actividad puzolánica en mayor o menor medida. Entre ellas se encuentran las escorias de fundiciones de acero, la microsílíce o humo de sílice que se genera como producto secundario en la fundición de aleaciones de ferrosilicatos,



metacaolines procedentes del tratamiento térmico del caolín, y las cenizas volantes procedentes de la combustión del carbón en plantas térmicas.

No obstante, estos sustitutos de la puzolana no presentan la misma superficie de reacción que las de origen natural, debido a que la puzolana de origen volcánico presenta una mayor cantidad de poros originados por los gases de la erupción, no presentando hoy por hoy unas propiedades igual de óptimas.

OTROS USOS DE LA PUZOLANA NATURAL

La Pozolana de origen natural no solo se emplea por sus propiedades como aditivo al cemento, sino como ornamento de parques y jardines



Fig. 6 Ornamento en parques y jardines

Además de los ya señalados como aditivo para el cemento, existen otras aplicaciones de interés para este material calibrado.

- Fabricación de Hormigones de baja densidad (como ya se ha señalado en el caso del Panteón de Roma).
- Drenaje natural en campos de fútbol e instalaciones deportivas.
- Filtro natural de líquidos por su elevada porosidad.
- Absorbente (en el caso del agua del 20 al 30 % del peso de árido seco) y preparación de tierras volcánicas olorosas.
- Aislante Térmico
- Sustrato inerte y aireante para cultivos hidropónicos.



- Jardinería. En numerosas rotondas, jardines. Sustituto eficaz del césped en zona con carencia de agua de riego.
- Arqueología. Protector de restos arqueológicos de baja densidad para conservación por construcción sobre ellos o con carácter temporal.



Fig. 7 Empleo de Puzolana para protección de restos arqueológicos en las obras de restauración del Teatro Romano de Cartagena.

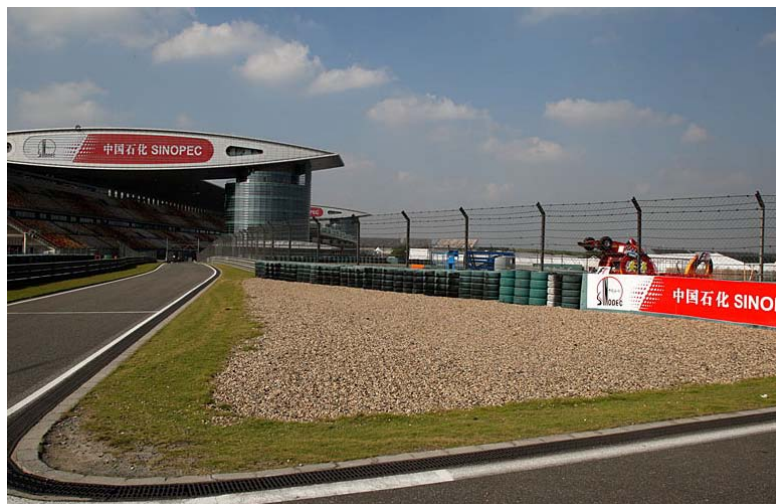


Fig. 8 Uso en pistas automovilísticas

1.6. USOS DE LA PUZOLANA EN OBRAS CIVILES

La puzolana tiene características especiales que le convierten en un material ideal para ciertas obras de ingeniería civil donde se requieren características específicas del hormigón como por ejemplo disminución en el calor de hidratación, mayor compacidad, menor segregación, retraso en el tiempo de fraguado, mayor densidad, entre otras.



Debido a las características que la puzolana le confiere a las mezclas de hormigón su adición como sustituto del cemento es recomendable en obras que impliquen la colocación de grandes volúmenes de hormigón como pueden ser presas, pavimentos, cimentaciones, etc.

" Cualquier volumen de hormigón con dimensiones lo suficientemente grandes para requerir que se tomen medidas para contrarrestar la generación del calor de hidratación del cemento y el consiguiente cambio de volumen a fin de evitar o reducir al mínimo las fisuras o grietas" (ACI 116R Cement and concrete terminology) es denominado hormigón masivo.



Fig. 9 Viaducto La Guaira, Caracas

Muchos elementos estructurales grandes pueden ser suficientemente masivos para que la generación de calor deba ser considerada, Particularmente cuando la dimensión mínima de la sección transversal del elemento sólido se aproxima o excede de 2 a 3 pies (60 a 90 cm) o cuando el Contenido de cemento excede 600 lb/yd³ (350 Kg/m³) (ACI 211.1R-91 Standard Practice for Selecting Proportions for normal, Heavyweight, and Mass Concrete)

Dado que el hormigón tiene una baja conductibilidad térmica, en grandes volúmenes de hormigón el calor generado por el calor de hidratación se disipa muy lentamente, generando elevadas temperaturas en la masa del hormigón. Esto origina un significativo diferencial de temperatura entre la de su interior y la del ambiente, generando cambio de volumen diferencial y por ende restricciones internas que dan como resultado deformaciones y tensiones de tracción en la masa del hormigón, que pueden causar fisuración del elemento estructural. Si la mezcla alcanza temperaturas sobre 190° F (87,7° C) pueden causar reducción en la resistencia del hormigón.



Como el hormigón con adición de puzolana tiene baja porosidad y además le confiere estabilidad química a la mezcla, su uso es adecuado en obras marítimas para prevenir la corrosión del refuerzo y evitar que la mezcla reaccione con los minerales contenidos en el agua de mar.



Fig. 10 Losa de Fundación de la Marquesina del Estadio Metropolitano de Barquisimeto, Venezuela

A partir del uso de altos volúmenes de adiciones minerales muy finas, tales como las cenizas volantes, microsílíce, metacaolín y polvos finos de cuarzo se puede alcanzar alta resistencia y durabilidad en los hormigones de alta y ultra alta resistencia, esta característica está asociada a la obtención de una matriz muy densa, esto se debe a que las partículas de la puzolana, entre 10-100 μm , pueden llenar los vacíos entre los granos más finos del agregado, resultando en una matriz más densa

Las adiciones minerales de alta finura pueden ayudar al mejoramiento de las cualidades del hormigón. Estos pueden ser efectos físicos tal como el incremento de la compacidad, o efectos físico- químicos como los nuevos productos de reacción formados durante la reacción puzolánica. En ambos casos el efecto final es similar, la porosidad del hormigón disminuye y la distribución y tamaño de los poros se hacen más pequeños. El uso de las puzolanas puede modificar las propiedades reológicas, mecánicas y la durabilidad del hormigón.

En hormigones de resistencias normales, las puzolanas son añadidas para reducir los costos y mejorar los valores de resistencia y durabilidad de la masa endurecida. En tales casos, las puzolanas ayudan a mejorar la compacidad de los sólidos, pero el rol primario es proveer silicato cálcico hidratado adicional por medio de la reacción con el agua y con el hidróxido cálcico proveniente de



la reacción del cemento Pórtland. Esta reacción puzolánica es pequeña para la mayoría de las puzolanas utilizadas en altas proporciones, así, los beneficios son observados en el plazo de una semana a varias semanas después de mezcladas. Algunas de estas puzolanas altamente reactivas (tales como la silica fume) son añadidas en pequeñas proporciones y ayudan a mejorar los valores de resistencias a edades tempranas así como también la durabilidad a mayores edades. (Shannang y Yeginobali, 1995; Singh, 2000).

Cuando se trata de hormigones de altas prestaciones las adiciones minerales ó puzolánicas ejercen una doble función en estos casos. Las finas partículas puzolánicas llenan los espacios vacíos entre los granos de cemento y entre el resto de los granos puzolánicos mejorando la compacidad. Solo una pequeña parte de las adiciones puzolánicas, menos del 20% reacciona.

PRESAS



**Fig. 11 Represa 3 Gargantas, río Yangtsé en China
(Represa más grande del mundo)**

Las presas de hormigón son las más utilizadas en los países desarrollados ya que con éste material se pueden elaborar construcciones más estables y duraderas; debido a que su cálculo es más confiable frente a las producidas en otros materiales. Normalmente, todas las presas de tipo gravedad, arco y contrafuerte están hechas de este material.

El concreto macizo, en un principio sin la construcción de juntas transversales de contracción, empezó a desplazar el uso de la mampostería en la construcción de grandes presas que no fueran de relleno, alrededor de 1900, por razones económicas y también por las facilidades en la construcción de



perfiles más complejos como el arco. Los primeros concretos utilizados empleaban grandes piedras como áridos gruesos (mampostería ciclópea). Desde 1950, el concreto utilizado incorpora cada vez mas aditivo minerales como cenizas pulverizadas o escoria para intentar reducir problemas térmicos y disminuir los crecientes costos. Este tipo de presas tienen componentes muy permeables, por lo que es necesario añadirles un elemento impermeabilizante. Además, estas estructuras resisten siempre por gravedad, pues la débil cohesión de sus materiales no les permite transmitir los empujes del agua al terreno



Fig. 12 Presa en arco, Oymapinar Dam (Turquía).

PAVIMENTADO

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes



Si bien existen dos tipos de pavimentos, el flexible y el rígido; es en el pavimento rígido en donde se puede aplicar una adición de puzolana como sustituto del cemento. El pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.



Fig. 13 Pavimento Rígido

Este tipo de pavimento por lo general se coloca utilizando hormigones compactados con rodillo. En lo que se refiere a su empleo en pavimentos, el HCR se lo puede definir como una combinación entre las bases tratadas con cemento (BTC) y los hormigones vibrados debido a que utiliza los mismos equipos que la BTC y alcanza resistencias similares a las de un hormigón vibrado es por esto que pueden recibir cargas directas de tráfico circulando.

OBRAS MARITIMAS

El hormigón sumergido propiamente dicho, es un hormigón que debe mantenerse inerte a las características del ambiente en el cual se encuentra, esto significa que el cemento y agregados no deben reaccionar con elementos presentes en el agua. Además este debe ser impermeable, para que así las armaduras utilizadas no sufran de corrosión. Esas características anteriormente enunciadas deben acompañar a las de resistencia requerida por la estructura.

Dentro de las utilidades que se le da a este tipo de hormigón, se encuentra la construcción de estructuras marítimas (puertos, muelles, embarcaderos, amarraderos), cimentaciones de puentes, estanques, lastres para emisarios y todo tipo de estructura que esté en constante contacto con el agua.

En los hormigones marítimos son frecuentemente usados los reductores de agua, para mejorar la trabajabilidad y reducir la segregación durante la



manipulación. Retardadores y Plastificantes son muy usados en los hormigones sumergidos.

Lo interesante es anotar que la adición de productos puzolanicos al cemento Portland, proporciona aglomerantes que resisten sin descomponerse la acción química de las aguas marina



Fig. 14 Puertos

Es indudable según numerosos experimentos hechos en el laboratorio y en el mar y los resultados obtenidos en obras marítimas durante un número considerable de años que la presencia de la puzolana en los morteros constituye una garantía muy grande contra los riesgos de descomposición química. Debe recordarse que algunos morteros de cal y puzolana se conservan en el mar desde el tiempo de los romanos; que existen en buen estado en el puerto de Génova empotramientos hechos con cal y puzolanas hace dos o tres siglos.

Otra mezcla que se ha intentado utilizar es cemento Portland con escoria de altos hornos, las cuales son menos seguras que las buenas puzolanas, y el empleo en el mar de sus mezclas con la cal ordinaria no es muy aconsejable, al menos sin obtener antes, con una experiencia suficientemente prolongada, una completa garantía.

1.7. PUZOLANAS EXISTENTES EN EL ECUADOR

Presencia de las Puzolanas.- La existencia de las puzolanas en nuestro continente tiene relación con la formación geológica, para lo cual se puede hacer referencia al vulcanismo y al famoso "Círculo de Fuego del Pacífico", que parte desde Alaska en América del Norte, hasta Filipinas, Japón y Siberia, llegando nuevamente hasta Alaska.

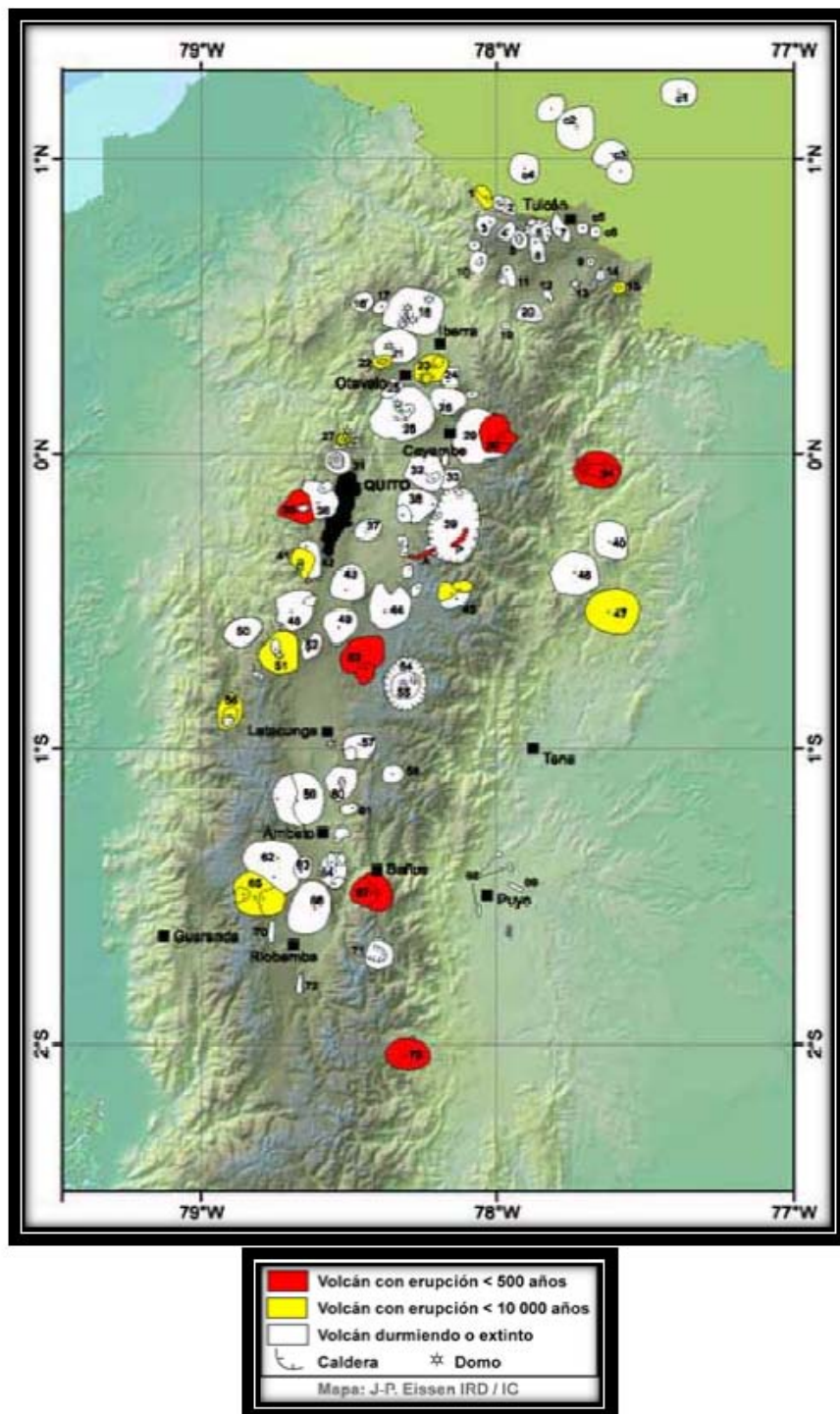


Fig. 15 Mapa de Volcanes del Ecuador

Las Puzolanas en el Ecuador. En nuestro país se diferencian dos zonas volcánicas: volcanismo antiguo, que abarca la parte austral del país y comprende las Provincias del Azuay, Cañar y Loja; y el volcanismo moderno que comprende las provincias del Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Pichincha e Imbabura. La Puzolana en la parte central y norte del país se encuentra en las siguientes localidades: La Unión en Baños de Ambato, en las



estribaciones del Volcán Altar y en Riobamba en las cercanías de la fábrica Chimborazo; en tanto que en la zona austral la manifestación más importante de la presencia de este material se encuentra en las zonas de Llacao, Solano y Déleg en los límites provinciales de Cañar y Azuay.

Puzolanas del Austro.- Respecto a la existencia de este material en nuestra región debemos afirmar que existen recursos en cantidad y que no están siendo explotados, ya que este material es conocido poco dentro de la construcción

Dentro de las Provincias del Azuay y Cañar, existen varias zonas en donde se encuentra este material, se debe tener en cuenta que la puzolana en nuestro medio es producto de la actividad volcánica que terminó hace miles de años.

La manifestación más importante de este material volcánico se encuentra en la zona de, Llacao, Solano y Déleg. Forman una sucesión de picados y planicies que se desprenden de la cordillera occidental en las inmediaciones de Déleg; siguen con rumbo Norte-Sur hasta frente a la población de Sidcay, pasando por Solano y Llacao, de donde se dobla bruscamente hacia el Este, hasta las inmediaciones del Descanso.



2. Caracterización de los Materiales

Como se había comentado anteriormente el objeto de estudio de este trabajo es determinar las características físicas y químicas de la ceniza volcánica del Tungurahua, para su aptitud como material de construcción. Para el desarrollo de este trabajo resulta de mucha importancia caracterizar los otros materiales a utilizar, pues los resultados también dependerán de la naturaleza de los mismos.

2.1 Cenizas del Tungurahua



Fig. 16 Volcán Tungurahua

En el Ecuador existen ocho volcanes considerados como los más activos, de los 55 que existen, en Galápagos hay otros ocho que mantienen cierta actividad regular y que son controlados por el Instituto Geofísico: Cerro Azul, Sierra Negra, Alcedo. Son volcanes jóvenes que presentaron actividad en los últimos 50 años. Los volcanes considerados más activos son el Cotopaxi,



Tungurahua, Cayambe, Guagua Pichincha y Antisana, ubicados en el callejón interandino (*Ver Fig. 16*).

El volcán Tungurahua (*Ver Fig. 17*) tiene una forma cónica con una elevación de 5023 metros, está ubicado a 33 km al sureste de Ambato y es uno de los volcanes ecuatorianos más activos. La actividad más fuerte fue registrada en Agosto del 2006, alcanzo una columna de altura mayor a 8 Km, nubes de ceniza de 30 Km de altura que cubrieron un diámetro de 280 Km. Se expulsaron más de 50 millones de metros cúbicos de material volcánico.



Fig. 27 Volcán Tungurahua

La densidad de la ceniza, según los vulcanólogos, varía entre los 0,5 y 2 gramos por centímetro cúbico; es decir, un centímetro de espesor puede ejercer un peso de 20 kilogramos en cada metro cuadrado de acumulación de este material.

2.2 Características de la ceniza volcánica del Tungurahua

La ceniza se genera a partir de la roca cuarteada y separada en partículas diminutas durante un episodio de actividad volcánica explosiva. La naturaleza normalmente violenta de una erupción, incluyendo chorros de vapor de agua (erupción freática), produce como resultado una gran cantidad de magma y tal



vez roca sólida que rodea el viento volcánico, torneando las partículas hasta reducirlas al tamaño de granos de arena.



Fig. 18 Ceniza Volcánica del Tungurahua

Existen tres mecanismos de formación de la ceniza volcánica:

- Liberación súbita de gases atrapados que al descomprimirse provocan erupciones magmáticas.
- Contracción térmica debida a erupciones en agua o hielo.
- Eyección de partículas arrastradas durante las erupciones de vapor causando erupciones freáticas.

Su dureza varía entre dos (yeso) y siete (cuarzo) en la escala de Mohs (clasifica los minerales desde los más suaves hasta los más duros: talco, yeso, calcita, fluorita, apatito, plagioclasas, cuarzo, topacio, corindón y diamante). Es utilizada en la industria como abrasivo. Se debe tener en cuenta que la conductividad eléctrica de este material volcánico, cuando está húmedo, causa daños en los sistemas de distribución de energía en las zonas más alejadas del volcán.

Por esta razón los expertos recomiendan tener especial cuidado con los sistemas de agua, bombas, filtros y válvulas muy susceptibles a sufrir daños por la caída de cenizas, interferencias de radio y televisión, así como fallas en el suministro eléctrico.

2.3 Propiedades de la Ceniza Volcánica.

2.3.1 Propiedades Físicas.

Aunque la composición de la ceniza volcánica puede variar a lo largo de las diferentes etapas eruptivas los valores arrojados por el análisis realizado por la Escuela Superior Politécnica Chimborazo (ESPOCH), son los siguientes:

Densidad: varía entre 0,5 y 2 gr/cm³, del análisis de las muestras de ceniza de la emisión del 5 de Octubre de 1999, se desprende una densidad de 1,6 gr/cm³.



Textura: La clasificación de la textura de estas muestras que va desde arenoso, franco arenoso a franco arenoso limoso. Buena aireación y baja cohesión.

Humedad: Las muestras de ceniza volcánica tienen porcentajes bajos de humedad comparado con los suelos.

2.3.2 Propiedades Químicas.

En la siguiente tabla se muestra algunas de las propiedades químicas que presenta la ceniza del Tungurahua.

Tabla 4. Propiedades Químicas de la ceniza

SUSTANCIA QUIMICA	PALICTAHUA %	RIOBAMBA %
Oxido de Silicio (SiO ₂)	55.76	56.30
Oxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	7.33	5.68
Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	18.87	19.82
Oxido de Calcio (Cal viva CaO)	6.56	6.56
Pérdida por Calcinación	0.10	0.65
Oxido de Azufre (So ₂)	0.31	0.99
Oxido de Magnesio (MgO)	4.26	3.27
Oxido de Potasio (KO)	1.74	1.71

Fuente: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)

2.3.3 Propiedades Mineralógicas.

Las muestras de ceniza poseen andesina como constituyente principal, seguido de enstatita, pigeonita y cantidades menores de albita.

Tabla 5: Propiedades Mineralógicas de la Ceniza Volcánica (Tungurahua)

Muestra	Tectosilicatos			Inosilicatos		Vidrio volca (%)
	Andesina (%) (Na,Ca)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	Albita (%) NaAlSi ₃ O ₈	Cuarzo (%) SiO ₂	Enstatita (%) Mg ₂ Si ₂ O ₆	Pigeonita (%) (Mg,Fe,Ca) Si ₂ O ₆	
Ceniza ene 2004	67,0	5,0	---	16,0	12,0	---
Ceniza junio 2005	65,0	4,0	---	14,0	18,0	---
Ceniza abril 2006	67,0	2,0	---	5,0	26,0	---
Ceniza agos 2006	66,0	4,0	---	13,0	17,0	5 -10

Los minerales andesina y albita son tectosilicatos, específicamente plagioclasas que muestran estructuras fuertes, muy estables debido al ordenamiento de los tetraedros que los constituye, estos se forman a temperaturas muy elevadas (Cornelius, 1999). Los minerales enstatita y pigeonita, también se encuentran y son insolicatos, especialmente del grupo de piroxenos, que forman estructuras estables en cadenas simples de naturaleza refractaria.



2.4 Ensayos realizados a la ceniza volcánica

2.4.1 Granulometría de la ceniza

La realización de este ensayo permitió tener idea de la finura del material, de acuerdo a la norma NC-54-2005.



Fig. 19 Tamizadora Eléctrica para áridos finos

Equipos utilizados

- Tamizadora.
- Balanza.
- Horno.
- Tamices.

Tabla 6 Tamices utilizados para la granulometría de la ceniza

Tamiz	
#	mm
50	0,297
100	0,149
200	0,074
Fondo	----

Descripción del Ensayo

Para la realización de este ensayo, se tomó una muestra de 150g de material y se tamizaron de 5 a 10 min en la tamizadora eléctrica (*Ver Fig. 19*), con los tamices indicados.



Resultados del Ensayo. En la siguiente tabla se aprecia los valores promedios de las 3 granulometrías realizadas a la ceniza volcánica (Tungurahua).

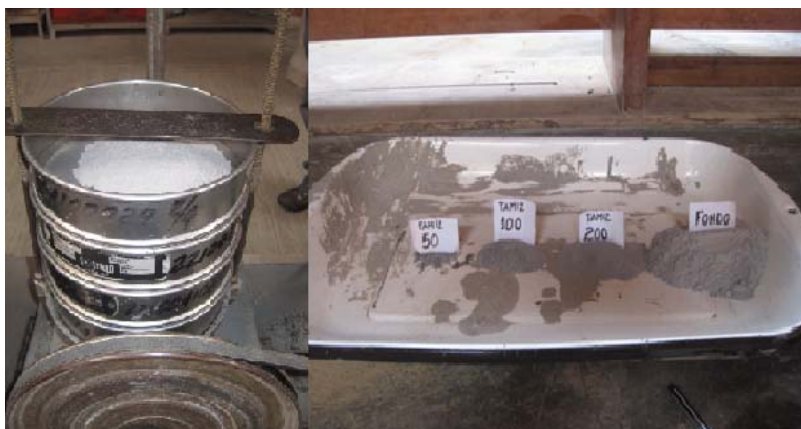


Fig. 20 Granulometría de la Ceniza

Tabla 7: Resultados de la Granulometría de la ceniza.

Tamiz		Peso Retenido	P. Ret. Acumulado	Ret. Acumulado	Mat. Pasado
# Tamiz	mm	(gr)	(gr)	(%)	(%)
50	0,297	1,5	1,5	1	99
100	0,149	13,2	14,7	10	90
200	0,074	28,1	42,8	29	71
Fondo		107,1	149,9	100	0

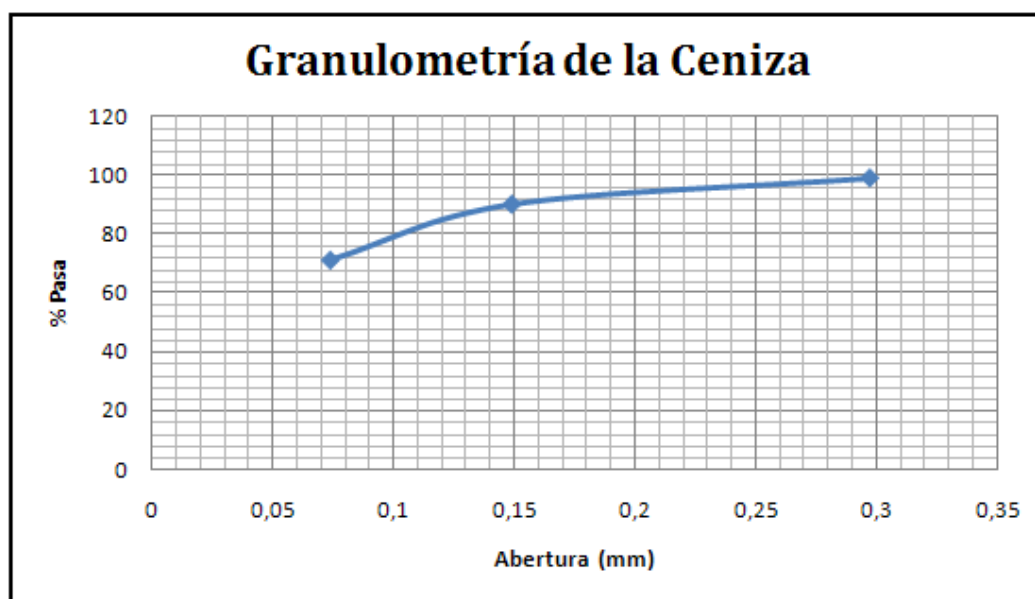


Fig. 21 Granulometría de la Ceniza



Como se observa en los resultados de la granulometría de la ceniza volcánica, el tamiz 200 tiene un 29% de retenido para su mejor aprovechamiento debe tener una finura mayor que la del cemento por tal motivo se decidió moler.

Para la molienda de ceniza se utilizó un molino de bolas de cerámica con una proporción 1/8, esto quiere decir, un gramo de material por cada ocho gramos de bolas, una vez seco el material se realizó un estudio de la molienda en un intervalo de tiempo, tiempo efectivo para que pase el 75% de material por el tamiz de 50 micras.

Una vez molida se realizó nuevamente la granulometría con una nueva serie de tamices que incluyó el de 90 y 50 micras (Anexo 1).

En la siguiente tabla se muestra el estudio de molienda de ceniza para 32g de ceniza y 256 g de bolas.

Tabla 8: Resultados de la Molienda de la ceniza y pasado por el tamiz de 50 micras.

Tiempo de Molienda (min)	Mat. A Tamizar (g)	Mat. Pasado (g)	% Pasado
0	32	14,8	46
5	32	16,6	52
10	31,8	18,1	57
15	31,8	19,7	62
20	31,7	20,6	65
30	31,7	20,9	66
45	31,7	20,2	64

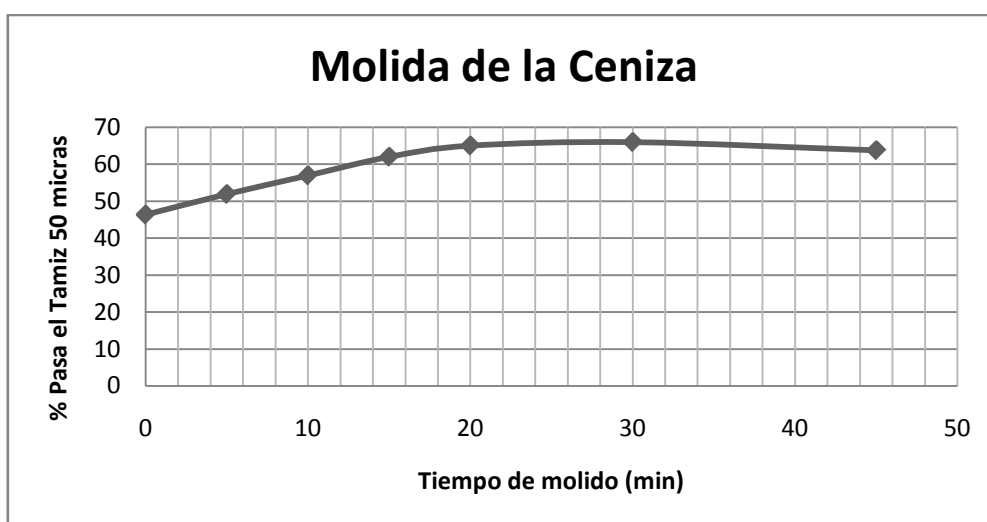


Fig. 22 Relación entre el % pasado por el tamiz de 50 micras y el tiempo de molido.

El tiempo de molido que más se aproxima para lograr que pase un 75% de material por el tamiz de 50 micras, fue de 30 minutos alcanzando un 66%



porque de ahí en adelante fue aumentando el tiempo y disminuyó % pasante, producto seguramente a la atracción electrostática entre las partículas muy finas.

2.4.2 Determinación del Peso Específico.

El peso específico de las partículas de ceniza volcánica por lo general está comprendido entre $2,44 - 2,96 \text{ gr/cm}^3$. Es importante determinarlo, pues a la hora de la dosificación se debe hacer teniendo en cuenta el volumen, puesto que en iguales cantidades de peso, el volumen de las puzolanas siempre será mayor al del cemento, debido a su menor peso específico. Este ensayo se realizó según la NC 19:1999.

Equipos Utilizados.

- Horno.
- Cocineta.
- Picnómetros.
- Balanza.

Descripción del Ensayo.

Se tomó una muestra de aproximadamente 250 g, seca previamente en el horno a 110°C . Esta se dividió en 4 porciones de 50g cada una, luego se vertieron los 50g de material en el picnómetro (anteriormente calibrado) cuidando no perder parte de ello (*Ver Fig. 23*) y se vertió agua destilada hasta cubrir el material y se tomó el peso del conjunto (recipiente/agua/ceniza). Una vez pesado se colocaron en el Baño de María, utilizando para ello la cocineta (*Ver Fig. 24*) y se dejaron hervir levemente durante aproximadamente 10 min, agitándose el picnómetro a intervalos para ayudar a la eliminación total del aire que quedaba dentro del mismo. Eliminado el aire de los picnómetros, se colocaron a temperatura ambiente para que se enfriaran. Pasadas las 12 horas se llenaron con agua destilada (a temperatura ambiente) hasta el enrase o aforo (*Ver Fig. 24*). Luego se limpiaron y secaron con un paño seco y se determinó su masa en la balanza hidrostática.

Resultados del ensayo

Tabla 9 Cálculo del Peso específico de la Ceniza

Muestra / # Frasco	M1/1	M2/2	M3/3
(A) Peso del material secado en el Horno (gr)	50	50	50
(B) Peso del Picnómetro lleno de agua (gr)	659,4	673	664
(C) A + B (gr)	709,4	723	714
(D) Peso del Picnómetro + Agua + Material (gr)	689,2	702,7	693,3
(E) Volumen de agua desplazado (C - D) (gr)	20,2	20,3	20,7
Peso Específico (A/E)	2,48	2,46	2,42
Peso Específico Promedio	$2,45 \text{ gr/cm}^3$		



Fig. 23: Vertido del material en el Picnómetro



Fig. 24: Eliminación del aire dentro del Picnómetro

2.5 Ensayos realizados al árido fino.

La arena que a continuación se caracteriza, es proveniente del Rio Upano, de la provincia de Morona Santiago. Se eligió esta arena por tener menor cantidad de sedimentos que la arena local.

2.5.1 Análisis Granulométrico.

El análisis granulométrico tiene por objeto determinar la distribución de tamaños de las partículas existente en una muestra seca de árido. Para ello se emplea una serie normalizada de tamices, ordenados de mayor a menor luz de malla, a través de los cuales se hace pasar el material.

Este ensayo se realizó según la NC 178: 2002.

Equipos utilizados.

- Estufa.
- Tamices normados.
- Tamizadora.
- Balanza.

**Descripción del ensayo.**

Previo al ensayo se tomaron unos 540 gr de material (arena), resultantes del cuarteo el cual fue lavado, secado en el horno durante 24 horas para eliminar cualquier humedad que tuviese y finalmente es pesado.



Fig. 25 Orden de los tamices para la Granulometría (Arena)

Para realizar el ensayo se coloca el material en la serie de tamices estándar, se acciona el vibrador entre 5 a 10 minutos.

Los tamices estándar usados para determinar la gradación de los agregados finos son: N° 8, 16, 30, 50, 100 y 200 (Ver Fig. 27); están seleccionadas en base a sus perforaciones cuadriculadas.



Fig. 26: Tamizado (Arena)

**Resultado del Ensayo.**

Procedencia:	Río Upano
Fecha:	30/08/2010

Humedad:	2,95	%
Peso Inicial:	540,00	gr.
Peso Seco luego del lavado:	518,70	gr.

Tabla 10 Granulometría Arena

Tamiz #	Abertura (mm)	Peso ret. Parcial (gr)	Peso ret. Corregido (gr)	Peso ret. Acumulado (gr)	% Ret. Acumulado.	% PASA
8	2,380	0,1	0,5	0,5	0,1	99,9
16	1,190	2,0	2,0	2,4	0,5	99,5
30	0,590	24,7	24,7	27,1	5,2	94,8
50	0,297	166,1	166,1	193,2	37,2	62,8
100	0,149	267,5	267,5	460,7	88,8	11,2
200	0,074	42,3	42,3	503,0	97,0	3,0
FONDO		15,7	15,7	518,7	100,0	0,0
TOTAL		518,35	518,70			

$$Error = \frac{(518,70 - 518,35)}{518,70} \times 100 = 0,07 < 0,5 \% \text{ Cumple}$$

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenidos acumulados en los tamices normados}}{100}$$

$$Modulo de Finura = \frac{0,1 + 0,5 + 5,2 + 37,2 + 88,8}{100} = 1,32$$

Coefficientes de uniformidad y curvatura

$$D_{10} = 0,138$$

$$D_{30} = 0,203$$

$$D_{60} = 0,289$$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,289}{0,138} = 2,09$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} = \frac{0,203^2}{0,138 * 0,289} = 1,03$$

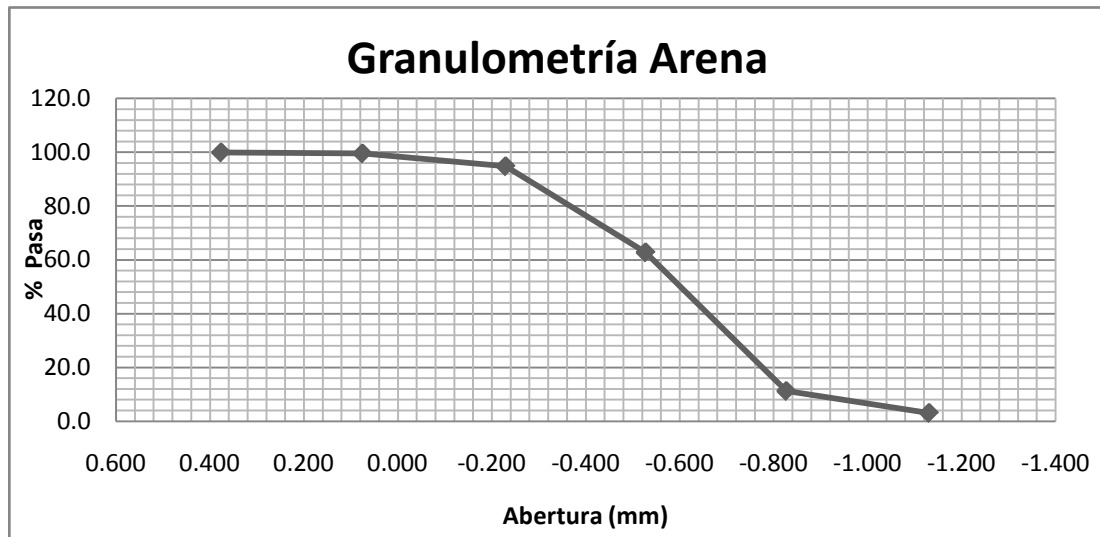


Fig. 27 Distribución Granulométrica Arena



Fig. 28 Distribución por tamaños de la arena

2.5.2 Peso específico de la arena

Tenemos diferentes pesos específicos de acuerdo a lo que se considere, como peso del material y su volumen.

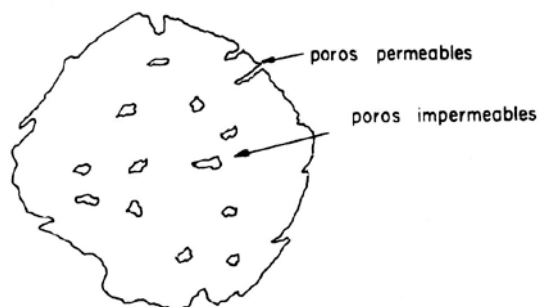


Fig. 29 Esquema de un árido



Cada partícula de árido está constituida por una parte sólida y otra de pequeños huecos o poros. Estos poros se clasifican en: poros permeables y poros impermeables (*Ver Fig. 29*). Los poros permeables son aquellos que se comunican con la superficie del árido pudiendo penetrar en ellos el agua con relativa facilidad, cuando los áridos se encuentran en un medio húmedo. Los poros impermeables son los que se encuentran completamente en el interior del árido, es decir, no se comunican con la superficie de este, siendo imposible que pueda llegar a ellos el agua que rodea el árido en un medio húmedo.

El peso específico corriente y el peso específico saturado sin humedad superficial se utilizan en el cálculo de las dosificaciones de los hormigones que contengan dichos áridos, para las relaciones de volumen a peso o de peso a volumen.

El primero se utiliza cuando el árido está seco, es decir, cuando no tiene agua en los poros permeables y el segundo, cuando el árido está húmedo, o sea, tiene sus poros permeables llenos de agua.

El peso específico aparente nos da un índice de la calidad del material que constituye el árido, y de ahí se puede deducir en cierto modo su durabilidad, resistencia a los esfuerzos mecánicos y hasta su carácter mineralógico. Según la NC 186:2002.

Equipos utilizados.

- Picnómetro y su placa de vidrio.
- Balanza (20 Kg).
- Horno.
- Cono con accesorios.

Descripción del ensayo.

1. Obtener la arena en condiciones S.S.S.
 - Sumergir la arena en agua mínimo 24 hrs. Para saturarla.
 - Tomar la muestra de la parte interna del montón.
2. Llenar el cono y golpear 25 veces con el pinzón.
3. Quitar el molde o cono y el material puede quedar en tres condiciones (*Ver Fig. 31*)

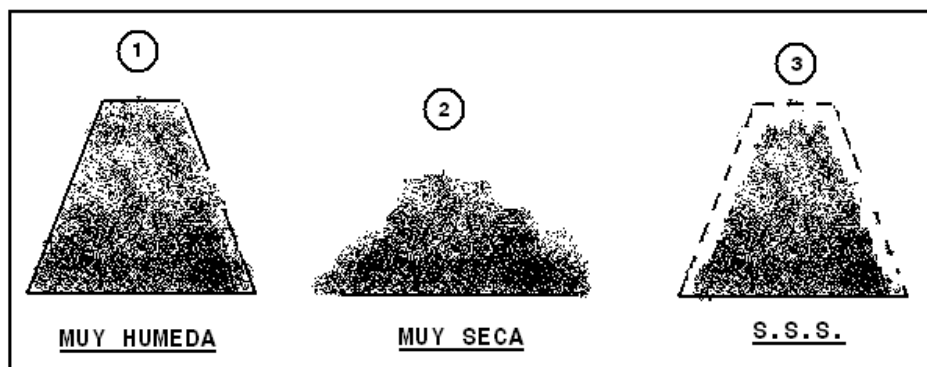


Fig. 30 Condiciones de la arena

4. Si el material está en la condición (1) calentar en la cocineta a fuego lento hasta obtener la condición (3) SSS. Si está muy seca, se debe humedecer o tomar otra muestra.
5. Pesar la arena en condiciones SSS (**A**) ($\pm 1000\text{gr}$). Tomar 2 porciones idénticas (colocar la una en el horno para no tomar la del paso 8)
6. Llenamos el picnómetro con agua, eliminamos las burbujas o aire colocando la placa y pesamos (**C**).
7. Dejar ($\pm 1/3$) de agua en el picnómetro, introducir la arena en condiciones SSS. En el picnómetro, llenarlo y eliminar el aire y pesar (**B**).
8. Retirar la arena del picnómetro, secar y pesar (D). (tomar la muestra que dejamos en el horno ya que el material de este paso se ha perdido el fino al lavar).



Fig. 31 Determinación de la condición de la arena



Fig. 32 Ensayo Peso Específico (Arena)

Resultados del ensayo.**Tabla 11 Datos del Ensayo del Peso Específico de la Arena**

PESO MATERIAL SSS (A):	1000	gr
PESO PICNOMETRO + AGUA + PLACA (C):	5781	gr
PESO PICNOMETRO + AGUA + PLACA + MATERIAL (B):	6400	gr
PESO MATERIAL SECO (D):	971,4	gr

Los pesos específicos se calculan por las siguientes formulas:

$$\text{Peso Especifico seco} = \frac{D}{A + C - B}$$

$$\text{Peso Especifico seco} = \frac{971,4}{1000 + 5781 - 6400} = 2,55 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso Especifico SSS} = \frac{A}{A + C - B}$$

$$\text{Peso Especifico SSS} = \frac{1000}{1000 + 5781 - 6400} = 2,62 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso Especifico Aparente} = \frac{D}{D + C - B}$$

$$\text{Peso Especifico Aparente} = \frac{6400}{971,4 + 5781 - 6400} = 2,76 \text{ gr/cm}^3$$

2.5.3 Peso Volumétrico de la arena

Peso volumétrico Pv es la cantidad de arena que cabe en cierto recipiente (Ver Fig. 33)

Equipos utilizados.

- Recipiente cilíndrico ($\pm 3 \text{ lts}$).
- Balanza de 20 Kg.
- Pala o cuchareta.



Descripción del ensayo.

1. Pesar el recipiente vacío (P_1).
2. Llenar el recipiente con arena y enraizar.
3. Pesar el recipiente con arena (P_2).
4. El peso de la arena es ($P = P_2 - P_1$).
5. Repetir los pasos 2-4 por tres veces: el error $\leq 0,5\%$.
6. Determinar el volumen del recipiente (V).

- Geométricamente.
- Llenar el recipiente con agua con una probeta.
- Llenar con agua el recipiente y pesarlo (P_w)

$$V = P_w - P_1$$

7. Calcular el peso volumétrico (P_v).

$$P_v = \frac{P}{V}$$



Fig. 33 Práctica Peso volumétrico (Arena)

Resultados del ensayo.

Tabla 12 Datos del Ensayo del Peso Volumétrico de la arena

PESO DEL RECIPIENTE:	2871	gr
PESO RECIPIENTE + MATERIAL COMPACTADO:	6707	gr
PESO DEL MATERIAL COMPACTADO:	3836	gr
PESO DEL RECIPIENTE + AGUA:	5791	gr
VOLUMEN DEL RECIPIENTE:	2920	cm ³

$$\text{Peso Volumetrico Compactado} = \frac{P. \text{ Mat. Compactado}}{Vol}$$

$$\text{Peso Volumetrico Compactado} = \frac{3836}{2920} = 1,31 \text{ gr/cm}^3$$



2.5.4 Absorción.

Este análisis es de gran importancia pues permite conocer la cantidad de agua que puede penetrar en los poros permeables de los áridos en 24 horas, cuando estos se encuentran sumergidos. Para este ensayo se utilizaron los mismos equipos que para el del peso específico. Este ensayo se realizó según la NC 186:2002.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{(A - D) * 100}{D}$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{(1000 - 971,4) * 100}{971,4} = 2,94$$

2.5.5 Humedad

Hemos determinado la cantidad de agua presente en una cantidad dada de material en términos de su peso en seco.

$$w = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

$$W_w = W_h - W_s$$

W_h : Peso de la muestra húmeda.

W_s : Peso de la muestra seca.



Fig.34 Ensayo Humedad (Arena)

Resultados del ensayo.

PESO HUMEDO (W_h)=	80,3	gr
PESO SECO (W_s)=	78,0	gr



$$\% \text{ Humedad} = \frac{(W_h - W_s)}{W_s} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(80,3 - 78,0)}{78,0} * 100 = 2,95$$

2.5.6 Material más fino que el tamiz 200.

Cuando es excesiva la cantidad de material más fino que el tamiz #200 no existe una buena adherencia entre el material cementante y el árido debido a que este material tiende a adherirse a las partículas de mayor tamaño. Esto perjudica la resistencia ante esfuerzos mecánicos de los hormigones que tienen dicho árido. Por otro lado, este exceso de material fino en los áridos que se van a usar en la fabricación de hormigones de cemento portland, requieren la utilización de altos contenidos de agua lo que influye en la pérdida de calidad del mismo.

Equipos utilizados.

- Tamiz 200.
- Tamiz 16.
- Estufa.

Descripción del ensayo.

Se tomó una muestra de 500gr. previamente secada en la estufa y se vertió en un recipiente adecuado cubriéndola de agua. Se agitó fuertemente para separar completamente las partículas gruesas de las finas. Se vertió el agua de lavado por el juego de tamices (#16 arriba del #200). Se repitió varias veces las dos operaciones hasta que el agua del lavado salió completamente clara. Luego se recogió el material retenido en los tamices y se vertió en una bandeja.

Se colocó en la estufa, la bandeja con el material a no más de 110°C, y cuando el material estuvo seco completamente, se sacó de la estufa y se pesó, a este peso le llamamos (b). Luego se calculó el % de material más fino que el tamiz 200.

$$\% = \frac{a - b}{a} \times 100$$

Donde: a: peso de la muestra original seca
 b: peso de la muestra seca después de lavada

Resultados del ensayo.

Este ensayo se repitió tres veces, usando para cada vez una muestra de 50gr. de arena. En la tabla se muestran los resultados del % de material más fino que el tamiz 200.

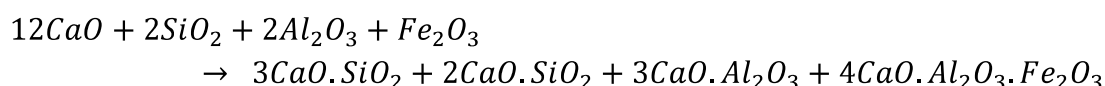
**Tabla 13 Datos del Ensayo Material más fino que el Tamiz 200**

Muestra	Peso Inicial (gr.)	Peso Seco (gr.)	% Mat. Fino
1	500	471.8	5.6
2	500	468.5	6.3
3	500	466.3	6.7
Promedio	500	468.9	6.2

2.6 Características del Cemento.

En el sentido más amplio, de la palabra cemento indica un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales le permiten unir fragmentos minerales entre sí para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas.

El cemento Portland, es una especie de cal hidráulica perfeccionada. Se produce haciendo que se combinen químicamente materias primas de carácter ácido como sílice y alúmina principalmente (arcilla), con otras de carácter básico como la cal (calizas). Esta reacción tiene lugar cuando las materias primas finamente molidas son llevadas a hornos a temperaturas de semifusión comprendidas entre 1300 – 1400 °C, en donde el material se sintetiza y se funde parcialmente, conformando bolas conocidas como “CLINKER”, que es un mineral artificial formado por silicatos, aluminatos y ferroaluminatos de calcio.

**Tabla. 14 Composición Química del Cemento Portland**

Nombre del Compuesto	Composición del Óxido	Abreviatura o Fórmula
Silicato Tricálcico	3CaOSiO ₂	C ₃ S
Silicato Dicálcico	2CaOSiO ₂	C ₂ S
Aluminato	3CaOAl ₂ O ₃	C ₃ A
Tricálcico	4CaOAl ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	C ₄ FA
Alúmino ferrito tetracálcico		



Tabla 15 Características del Cemento Guapan
Obtenido de la página web de INDUSTRIAS GUPAN
<http://www.industriasguapan.com.ec/resena.aspx>

Características de Calidad del Producto			
NORMA INEN 490			
CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD	MÁXIMO	MÍNIMO	CEMENTOS GUAPÁN
FÍSICAS:			
SUPERFICIE ESPECÍFICA (cm ² /g)		2800	4110
TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL (MINUTOS)		45	184
TIEMPO DE FRAGUADO FINAL (MINUTOS)	420		230
EXPANSIÓN EN AUTOCLAVE (%)	0,8		0.05
EDAD 3 DÍAS (1 Mpa = 10,2 Kg/cm ²)		13	19
EDAD 7 DÍAS		20	28.74
EDAD 28 DÍAS		25	39.9
RETENIDO TAMIZ 325			3.98
CONSISTENCIA NORMAL %			26.4
FALSO FRAGUADO %		50	84
DENSIDAD APARENTE			929
PESO DE SACOS (Kg)	50,5	49,5	50.0
QUÍMICAS:			
TRÍOXIDO DE AZUFRE (%)	4		2.15
ÓXIDO DE MAGNESIO (%)	6		1.98
PÉRDIDAS POR CALCINACIÓN (%)	5		1.49

2.7 Características de la Cal

Se utilizó la cal-P24, las características descritas a continuación las proporciona el fabricante calizas Huayco.

Producto a base de Hidróxido de Calcio, obtenido luego de un proceso de calcinación en hornos verticales a 1200 °C, temperatura óptima que garantiza que el producto tenga una excelente capacidad de reacción.

Es un producto con alto contenido de Hidróxido de calcio. De 79-85% Ca(OH)₂. Partícula fina malla 200. Densidad 0.65 gr/cm³



3. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

3.1. ESTUDIO INICIAL

El desarrollo del experimento empezó con la determinación de la actividad puzolánica de la ceniza volcánica del Tungurahua, siguiendo la norma ASTM C 593 ***Standard specification for fly ash and other pozzalans for use with lime.*** (Norma de especificación estándar de puzolanas y cenizas volantes para usarlas con cal), la cual indica la utilización de mortero de cal puzolana, de esta misma norma se tomo la dosificación para los materiales, teniendo en cuenta el valor de fluidez establecido.

Como aplicación se elaboro morteros de albañilería de acuerdo al código ecuatoriano de la construcción (mampostería de ladrillo- cuadro de morteros), para poder hacer una comparación se elaboraron morteros con un porcentaje de sustitución del 20, 30 y 40 % de un mortero cal-puzolana

3.1.1. CONFECCION DEL MORTERO

Mezclado. La mezcla se realizó mecánicamente, siguiendo estos pasos:



Fig. 35 Mezcladora eléctrica de tres velocidades.

- Pesar todos los materiales
- Humedecer la paleta y la caldera para no alterar la relación agua/cemento
- Verter el agua y luego los aglomerantes mezclados en seco e iniciar un periodo de mezclado a velocidad baja por 30 segundos
- Transcurridos los 30 segundos adicionar la arena e iniciar otro lapso de mezcla de 30 segundos a velocidad media



- Al finalizar este período de mezcla apagar y dejar reposar la mezcla durante 90 segundos, utilizando los primeros segundos para despegar el material de las paredes de la caldera y de la paleta



Fig. 36 Limpieza de la Caldera

- Iniciar un periodo final de mezcla de 60 segundos a la máxima velocidad

El mezclado debe realizarse de preferencia en mezcladora mecánica. Si se hace a mano debe efectuarse sobre una plataforma limpia e impermeable. El cemento y la arena deben mezclarse secos en la proporción requerida hasta obtener un aspecto homogéneo. Luego debe añadirse la cantidad suficiente de agua y mezclarse el mortero para conseguir la resistencia apropiada. En el caso de mezclado mecánico, el mortero debe mezclarse durante tres minutos, después de añadir el agua. En el caso del mezclado a mano, el mortero debe revolverse con una pala, por el tiempo de diez a quince minutos, añadiendo poco a poco el agua.

Verificación de la fluidez. Para la verificación de la fluidez se procedió como se explica en la norma ASTM C: 593 logrando una fluidez constante de $110 \pm 5 \text{ mm}$.



Fig. 37 Ensayo de Fluidez



Midiendo el aumento del diámetro producido en una muestra de mortero fresco moldeado, en un molde tronco-cónico de dimensiones determinadas cuando la mesa de sacudidas se eleva y se deja caer desde una altura de 12,7 mm, 25 veces en 15 s, girando la manivela con una velocidad constante.

Cantidad de agua medida en mililitros para producir un flujo de 65 a 75 por ciento en la tabla de flujo. Se utilizó la norma ASTM C-109.

Compactación y moldeado. Se realizó de forma manual. Se vierte una porción representativa de la muestra de aproximadamente 300 g de mortero en cada compartimento del molde, para formar una primera capa que se compacta en toda su superficie con 25 golpes suaves y homogéneos. Se vierte el resto del material y se repite la operación de apisonado, de modo que no afecte la masa del mortero colocado inicialmente ya apisonado. Se eliminan los espacios vacíos que hayan podido quedar en la superficie de los tres compartimentos. Cuando el mortero comience a endurecer, se engrasa el molde con una superficie metálica.



Fig. 38 Compactado y engrasado

3.1.2. DIMENSIONES DE LAS PROBETAS A REALIZAR

Se empleó un molde para 3 probetas de 40 mm x 40 mm x 160 mm para cada mezcla. El molde debe estar limpio y bien cerrado. Las paredes y su base deben engrasarse previamente antes de ser utilizados. Cada amasada alcanza solamente para el llenado de un molde.

Debido a que en la facultad no se cuenta con moldes de las dimensiones requeridas, se elaboraron en madera y se ajustaron con tornillos, para facilitar el desencofrado, buscando que sean firmes y sin irregularidades tal y como lo establecen las normas



Fig. 39 Moldes empleados para la elaboración de las probetas

3.1.3. FABRICACION DE LAS PROBETAS

Se elaboraron tres tipos de morteros, mortero cal-puzolana para la determinación de la actividad puzolánica, y como aplicación un mortero de albañilería comparado con morteros del 20, 30 y 40% de mortero cal puzolana como sustitución.

La tabla siguiente muestra la cantidad de probetas realizadas para estos morteros. Las probetas confeccionadas de los diferentes tipos de morteros antes mencionados, se ensayaron a los 3 y 7 días debido a que no se tuvo el tiempo suficiente para ensayar las probetas a los 28 días

Tabla 14 Número total de probetas confeccionadas

Mortero	Cal-puzolana	Albañilería	Sustitución 20%	Sustitución 30%	Sustitución 40%
Edad Ensayo(días)	7	3,7,28	3,7,28	3,7,28	3,7,28
Cantidad Moldes	1	3	3	3	3
Cantidad Probetas	3	9	9	9	9

3.1.4. DESENCOFRE Y CURADO

El curado de las probetas se realizó en dependencia del tipo de mortero, correspondiendo 36 de las probetas a mortero hidráulico y 3 de las probetas (para la determinación de la actividad puzolánica), a mortero aéreo.

- **Morteros hidráulicos.** Se mantiene en el molde durante 24h en ambiente húmedo a temperatura de $(27\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C})$ y más de 90 % de humedad relativa (no sumergidas en agua) o cubiertas con una bolsa de plástico. A continuación se desmoldan, se marcan y se mantienen en la ambiente húmedo hasta la edad de ensayo.



- **Morteros aéreos.** Se mantienen en el molde de (48 h a 72 h). A continuación se desmoldan, se marcan y se conservan a temperatura de ($27\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) y más de 60 % de humedad relativa hasta la edad de ensayo



Fig.40 Curado durante 24 horas previo al desmolde

Para facilitar el desencofre se utilizaron unos tornillos especiales que nos permitieron retirar las paredes de los moldes. Marcamos las probetas para poder identificarlas y procedimos a la fase de curado hasta el día del ensayo



Fig. 41 Desencofre de las probetas



Fig.42 Curado hasta la edad del ensayo: Piscina de agua y cámara de vapor



3.2. MORTERO DE CAL PUZOLANA.

3.2.1. DOSIFICACION NORMA ASTM C 593.

Para la confección de este mortero se siguió la norma ASTM C: 593, la cual se muestra en la tabla siguiente

Tabla 15 Dosificación especificada por la norma ASTM C: 593

Material	Pesos (gr.)
Puzolana	360
Arena	1480
Cal	180

Dicha mezcla se establece que se determine con una fluidez constante de 110 ± 5 mm.

3.2.2. CANTIDAD DE PROBETAS CONFECCIONADAS

Se confeccionaron 3 probetas para ser ensayadas a los 7 días

3.2.3. IDENTIFICACION DE LAS PROBETAS

Se les marco MACPUZ, y se les numeró a cada una, para el ensayo de flexión y compresión a los 7 días

Tabla 16 Identificación probetas Cal-Puzolana

Tipo de ensayo	Edad de Ensayo	Cal-puzolana
Resistencia a flexo tracción Resistencia a compresión	7	MACPUZ



Fig.43 Identificación de las probetas



3.3. MORTERO DE ALBAÑILERIA Y MORTERO DE SUSTITUCION CAL PUZOLANA

Se elaboró morteros de albañilería de acuerdo al código ecuatoriano de la construcción (mampostería de ladrillo- cuadro de morteros), (*Anexo 2*) para poder hacer una comparación se elaboraron morteros con un porcentaje de sustitución del 20, 30 y 40 % de un mortero cal-puzolana

3.3.1. DOSIFICACION

MORTERO DE ALBAÑILERIA (CEMENTO-ARENA)

La dosificación de ingredientes para la mezcla, de acuerdo a las condiciones de uso y resistencia, debe efectuarse de conformidad con los valores especificados en la tabla A.1 (*Anexo 3*). La cantidad de agua que se añade a los ingredientes secos debe ser la necesaria y suficiente para obtener una consistencia de trabajo satisfactoria. Debe evitarse el exceso de agua. Se eligió una dosificación 1, 3 correspondiente a cemento, arena. Dicha dosificación tiene uso en mampostería de ladrillo o bloques de hormigón

MORTERO DE ALBAÑILERIA (Sustitución con mortero cal-puzolana)

Se elaboraron morteros sustituyendo 20, 30 y 40 % del mortero de cemento por mortero cal-puzolana, con el fin de comparar la variación en las propiedades de estos morteros con el mortero patrón.

Tabla 16 Dosificación Mortero albañilería y Morteros de Sustitución

Mortero	Cemento (gr.)	Puzolana(gr.)	Cal(gr.)	Arena (gr.)	Agua (cc.)
Albañilería (MA)	510	0	0	1020	300
Sustitución (MCP 20%)	408	81.6	20.4	1020	310
Sustitución (MCP 30%)	357	122.4	30.6	1020	320
Sustitución (MCP 40%)	306	163.2	40.8	1020	330

3.3.2. CANTIDAD DE PROBETAS CONFECCIONADAS

Para esta aplicación se elaboraron 36 probetas, 9 para el mortero de albañilería, 9 para el mortero del 20% de sustitución por mortero cal-puzolana, 9 para el mortero del 30% de sustitución por mortero cal-puzolana, y 9 para el mortero del 40% de sustitución por mortero cal-puzolana



Tabla 17 Cantidad de probetas MA, MCP 20, 30 y 40%

Mortero	Albañilería	Sustitución 20%	Sustitución 30%	Sustitución 40%
Edad Ensayo(días)	3,7,28	3,7,28	3,7,28	3,7,28
Cantidad Moldes	3	3	3	3
Cantidad Probetas	9	9	9	9

3.3.3. IDENTIFICACION DE LAS PROBETAS

Se les marco MA, MCP 20%, MCP 30%, MCP 40% y se les numeró a cada una, para el ensayo de flexión y compresión a los 3,7 y 28 días.

Tabla 18 Identificación morteros MA, MCP 20, 30 y 40%

Tipo de ensayo	Edad de Ensayo	Albanileria (MA)	Sustitucion (MCP 20%)	Sustitucion (MCP 30%)
Resistencia a flexo tracción Resistencia a compresión	3,7,28	MA #1	MCP 20% #1	MCP 30% #1
		MA #2	MCP 20% #2	MCP 30% #2
		MA #3	MCP 20% #3	MCP 30% #3

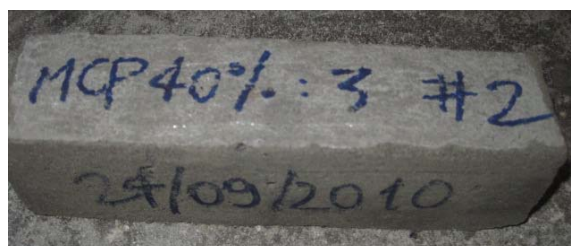


Fig.44 Identificación de las probetas

3.4. ENSAYOS REALIZADOS AL MORTERO EN ESTADO ENDURECIDO

3.4.1. DENSIDAD SATURADA SIN HUMEDAD SUPERFICIAL

Para este ensayo se tomaron las probetas de mortero secándolas superficialmente con un paño se determinó el peso saturado sin humedad superficial y luego el peso sumergido y luego utilizando una pesa hidrostática (Foto 3.5.1) se determinó el peso saturado sin humedad superficial y el peso



sumergido, para luego poder calcular la densidad de las mismas con la siguiente fórmula.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso saturado}}{\text{Peso saturado} - \text{Peso sumergido}}$$

3.4.2. ABSORCION CAPILAR

Consiste en medir el aumento de peso que experimentan las probetas por unidad de superficie por efecto del agua absorbida por capilaridad, cuando se las sumerge por una de sus bases menores (40 mm x 40 mm) hasta una altura de 5 mm \pm 1 mm. Las probetas empleadas en el ensayo son de 40 mm x 40 mm x 160 mm y conservadas durante 28 días.

La absorción de agua por capilaridad es una propiedad que no está completamente definida en los morteros de albañilería. En ocasiones se confunde con la permeabilidad, cuando se determina principalmente en morteros de recubrimiento, se produce al existir una diferencia de presión dentro de los capilares, lo cual provoca que el agua ascienda por su interior. A más fino y largo el capilar la absorción será mayor.



Fig. 45 Cámara Acondicionada para el ensayo

Aparatos, utensilios y medios de medición

- Bandejas de laboratorio.
- Balanzas con precisión de 1 gramo.
- Probetas de 250 ml - 500 ml.

Procedimiento. Las probetas preparadas según la NC 173, son desmoldadas y colocadas en la sala de curado a temperatura de 27 0C \pm 2 0C y humedad relativa ³ 90 %, durante 28 días.

Las probetas curadas se colocan en posición vertical, o sea por su cara de 40 mm x 40 mm sobre un lecho de arena fina de no más de 10 mm de espesor en



un recipiente estanco que contenga una altura de agua por encima del lecho de arena de aproximadamente 5 mm. Para mantener el nivel del agua en el recipiente se llena una probeta de agua y se coloca en posición invertida a 5 mm sobre el lecho de arena.

Las probetas son pesadas antes de ser colocadas en el agua y a las edades de 4 h; 8 h; 1; 3; 5 y 7 días. Antes de cada pesada debe limpiarse la superficie para evitar que no queden partículas de arena adheridas al mortero y se secan con un paño el agua superficial

Cálculo de los resultados

$$\text{Absorción por capilaridad} = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{16} (\text{gr} / \text{cm}^2)$$

Donde:

P final - Masa de la probeta a la edad del ensayo en gramos

P inicial - Masa de la probeta antes de sumergirse en el agua en gramos

3.4.3. RESISTENCIA A FLEXOTRACCION Y RESISTENCIA A COMPRESION

La determinación de la resistencia a flexión y compresión se realiza sobre probetas prismáticas de 40 x 40 x 160 mm. La resistencia a flexión viene dada por la carga necesaria para romper cada probeta en dos mitades, la resistencia a compresión se determina a continuación sobre cada una de las mitades mediante la aplicación, hasta la rotura de una carga uniformemente repartida.

Las probetas antes del ensayo deben ser pesadas y medidas, no deben poseer aristas, grietas, fisuras, deformaciones, ni material adherido a sus caras, lo cual pudiera distorsionar los resultados al aplicar la carga de rotura.

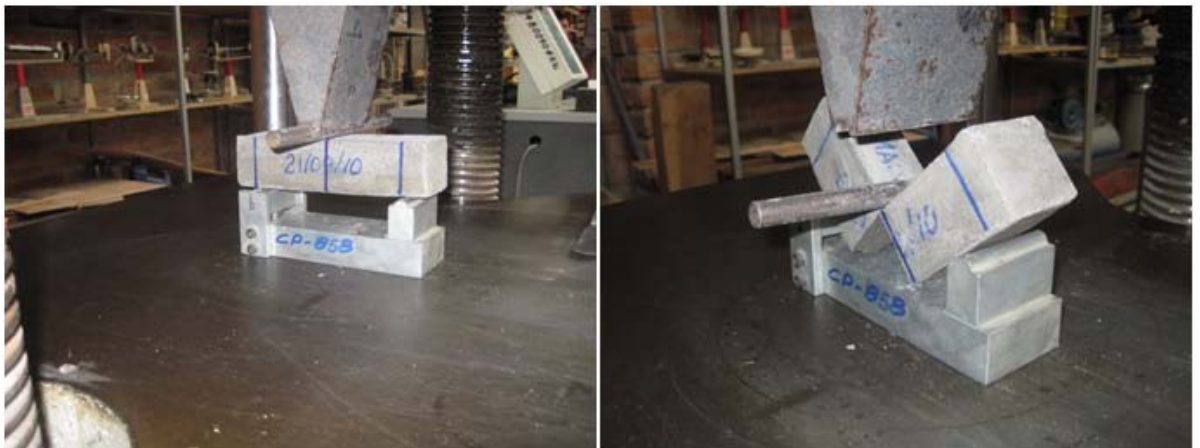


Fig.45 Ensayo a Flexo tracción



Fig.46 Ensayo de Compresión

3.4.4. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN Y POROSIDAD

Los pedazos sanos de la compresión fueron de utilidad para la realización de estos ensayos, es decir la parte de cada mitad de probeta que la prensa no se comprimió. Se tomaron los mismos y se pesaron en una balanza hidrostática secos sin humedad superficial y sumergidos, luego se pusieron en la estufa durante 24h a una temperatura de 110°C, Pasado este tiempo se pesó y se determinó el porcentaje de absorción por la expresión vista anteriormente en el cálculo de absorción del árido fino

$$\text{Porcentaje de Absorción} = \frac{500 - A}{A}$$

Donde: A: Peso seco a las 24h en el ensayo de peso específico.



Fig.47 Pedazos de probetas y equipos utilizados para el ensayo de absorción

Y la porosidad, que es la relación entre el volumen de poros y el volumen total, se expresa en porcentaje según la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de Porosidad} = \frac{A - B}{A - C} \times 100$$

Donde: A, Peso saturado.
B, Peso seco a 110°C.
C, Peso sumergido.



4. RESULTADOS DE LA TAREA EXPERIMENTAL

A las probetas confeccionadas se les realizaron una serie de ensayos con el objetivo de determinar la efectividad de la ceniza volcánica del Tungurahua como adición en morteros de albañilería en un veinte, treinta y un cuarenta por ciento, los resultados de dichos ensayos se presentarán y analizarán durante el desarrollo de este capítulo.

4.1 ENSAYO DE DENSIDAD

A continuación se presenta los valores medios del ensayo de densidad saturada para los tipos de morteros a diferentes edades de rotura.

Tabla 19 Densidad Saturada morteros hidráulicos

Tipo de mortero	Edades de ensayo (Días)	
	3 días	7 días
Muestra de control (MA)	2,17	2,18
MCP 20%	2,15	2,17
MCP 30%	2,12	2,14
MCP 40%	2,10	2,11

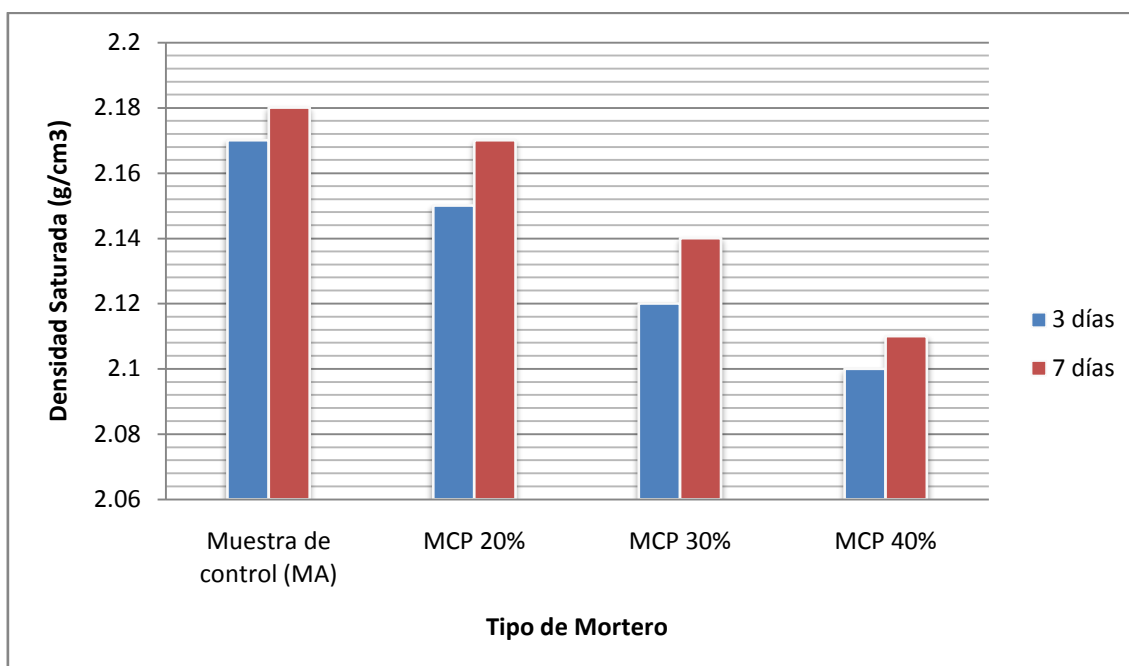


Fig. 48 Resultados del Ensayo de Densidad Saturada

La Fig. 48 ayuda a entender el comportamiento del mortero en estado endurecido, como se puede apreciar existe una decadencia de la densidad a medida que aumenta el porcentaje de sustitución, debido a que el peso específico de la ceniza (puzolana) utilizada es mucho menor que el del cemento.



4.2 RESISTENCIA A LA COMPRESION

4.2.1 MORTERO CAL-PUZOLANA

ACTIVIDAD PUZOLANICA: De acuerdo a la norma, el valor resultante del ensayo a compresión debería ser de 4.1 MPa.

Edad(días)	Probeta	Comp.(MPa)	X(MPa)
7	MACPUZ #1	5.9	6.1
	MACPUZ #2	6.2	
	MACPUZ #3	6.1	

Como promedio se ha obtenido 6.1 MPa por lo que se deduce que **la ceniza volcánica del Tungurahua tiene actividad puzolánica de acuerdo a la norma ASTM C 593.**

4.2.2 MORTERO DE ALBANILERIA Y MORTEROS DE SUSTITUCION

4.2.2.1 RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION Y LAS EDADES DE ROTURA

A medida que aumenta la edad de rotura, aumenta la resistencia, ajustándose esto al modelo teórico inicial, aunque en todas las edades el mayor resultado fue el de la muestra de control.

En la siguiente tabla se incluye los resultados de Resistencia a Compresión ensayados a 3 y 7 días.

Tabla 20 Resultados de la Resistencia a Compresión

Tipo de Mortero	Edades de Ensayo (Días)	
	3 días	7 días
Muestra de Control	13,2	17,4
Mortero 20% Cal-puzolana	12,2	13,4
Mortero 30% Cal-puzolana	9,1	12,0
Mortero 40% Cal-puzolana	6,0	8,3

Las unidades de la Resistencia a compresión (f'_c), están dadas en MPa.

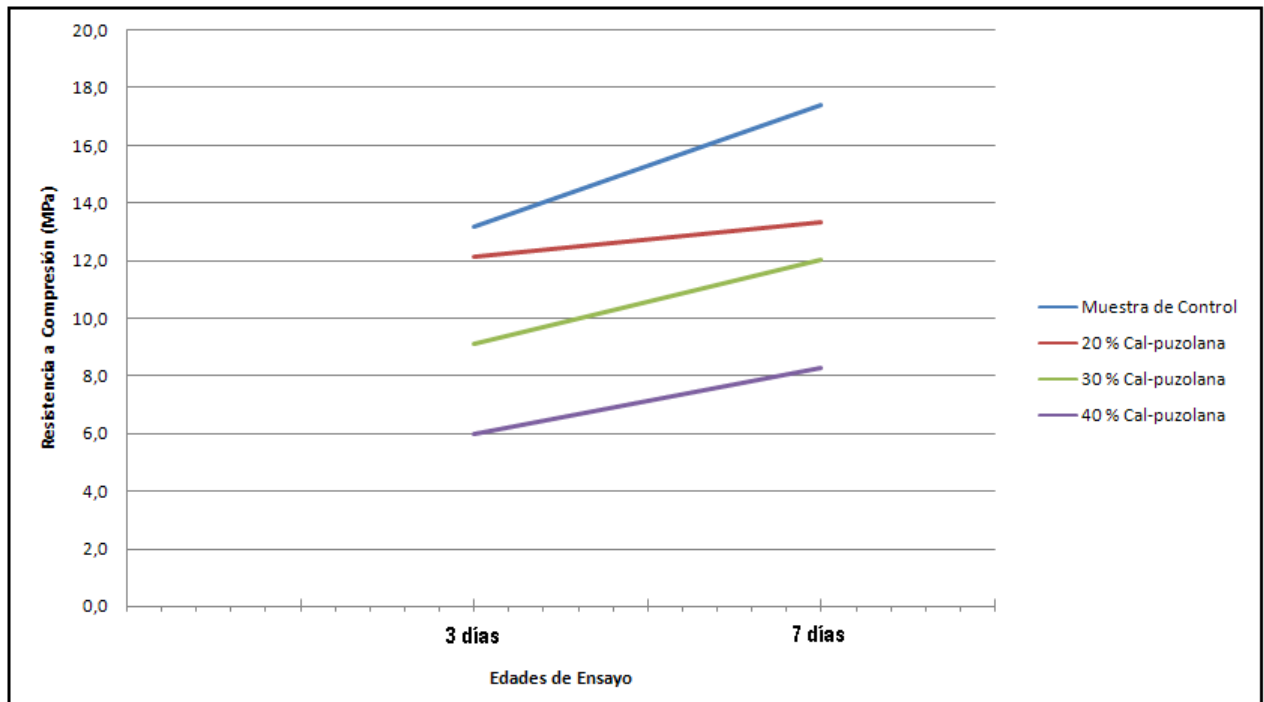


Fig. 49 Resistencia a Compresión Vs Edades de Ensayo

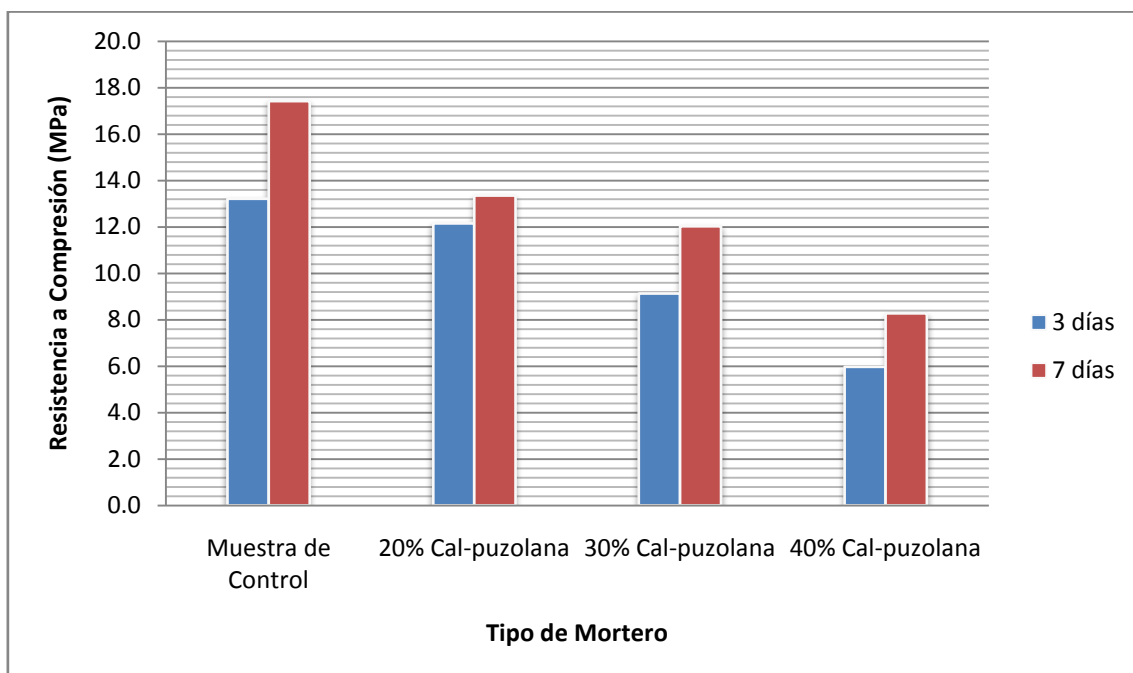


Fig. 50 Resistencia a Compresión Vs Edades de Ensayo

Como se puede observar en la Fig. 50, la resistencia a compresión de los morteros está directamente relacionada con la edad.

El detalle de los resultados de compresión se presenta en (Anexo 4)



4.2.2.2 CRECIMIENTO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION EN CADA EDAD CON RESPECTO A LA DE TRES DIAS

La siguiente tabla muestra el crecimiento de cada edad de rotura con respecto a la de tres días para cada tipo de mortero.

Tabla 21 Crecimiento de cada edad de rotura con respecto a la de tres días.

Tipo de Mortero	$f'c_3/f'c_3$		$f'c_7/f'c_3$	
Muestra de Control	1	100%	1,32	32%
Mortero 20% Cal-puzolana	1	100%	1,20	20%
Mortero 30% Cal-puzolana	1	100%	1,32	32%
Mortero 40% Cal-puzolana	1	100%	1,38	38%

Como se había explicado anteriormente, a medida que aumenta la edad de rotura, se incrementa la resistencia notablemente. El crecimiento del mortero con sustitución del 40%, a los 7 días fue mayor que la muestra de control, aunque no supero la resistencia.

4.2.2.3 Relación entre los valores de resistencia de cada mortero con respecto a la muestra de control.

La siguiente tabla plantea la relación de la resistencia de cada mortero con respecto a la del patrón para la misma edad de rotura.

Tabla 22 Relación entre la resistencia de cada mortero con respecto a la muestra de control.

Tipo de Mortero	3 Días		7 Días	
Mortero 20% Cal-puzolana/M. Control	0,92	92%	0,77	77%
Mortero 30% Cal-puzolana/M. Control	0,69	69%	0,69	69%
Mortero 40% Cal-puzolana/M. Control	0,45	45%	0,47	47%

Los resultados de la relación entre la resistencia de cada mortero con respecto a la muestra de control indican una diferencia entre los morteros de sustitución a los 3 y 7 días, manteniéndose prácticamente constante en el mortero de 30 y 40 %. Se aprecia que en ningún caso se obtuvieron iguales o mejores resultados que el de la muestra de control.

El cemento cal puzolana adquiere resistencias a largo plazo después de los 56 días, mientras que en el Portland la resistencia se obtiene en plazos relativamente cortos. En el presente caso de nuestra tesina por motivo del tiempo disponible se tienen resultados a los 7 días. Por lo que cabe esperar que a largo plazo las resistencias entre los morteros de cemento Portland y los que tienen sustitución cal puzolana se asemejen.



4.3 RESISTENCIA A FLEXO-TRACCION

4.3.1 MORTERO CAL-PUZOLANA

Edad(días)	Probeta	Flexo-tracción MPa)	X(MPa)
7	MACPUZ #1	1.1	1.1
	MACPUZ #2	0.9	
	MACPUZ #3	1.2	

4.3.2 MORTERO DE ALBANILERIA Y MORTEROS DE SUSTITUCION

4.3.2.1 Relación entre la resistencia a flexo tracción y las edades de rotura.

En tabla siguiente muestra los resultados del ensayo de Resistencia a Flexo tracción de los diferentes morteros elaborados a las edades indicadas de rotura.

Tabla 23 Resultados del Ensayo a Flexo-tracción.

Tipo de Mortero	Edades de Ensayo (Días)	
	3 días	7 días
Mortero de Albañilería	2,1	2,5
Mortero 20% Cal-puzolana	1,8	2,3
Mortero 30% Cal-puzolana	1,3	1,9
Mortero 40% Cal-puzolana	1,1	1,5

Las unidades de la Resistencia a Flexo-tracción están dadas en MPa.

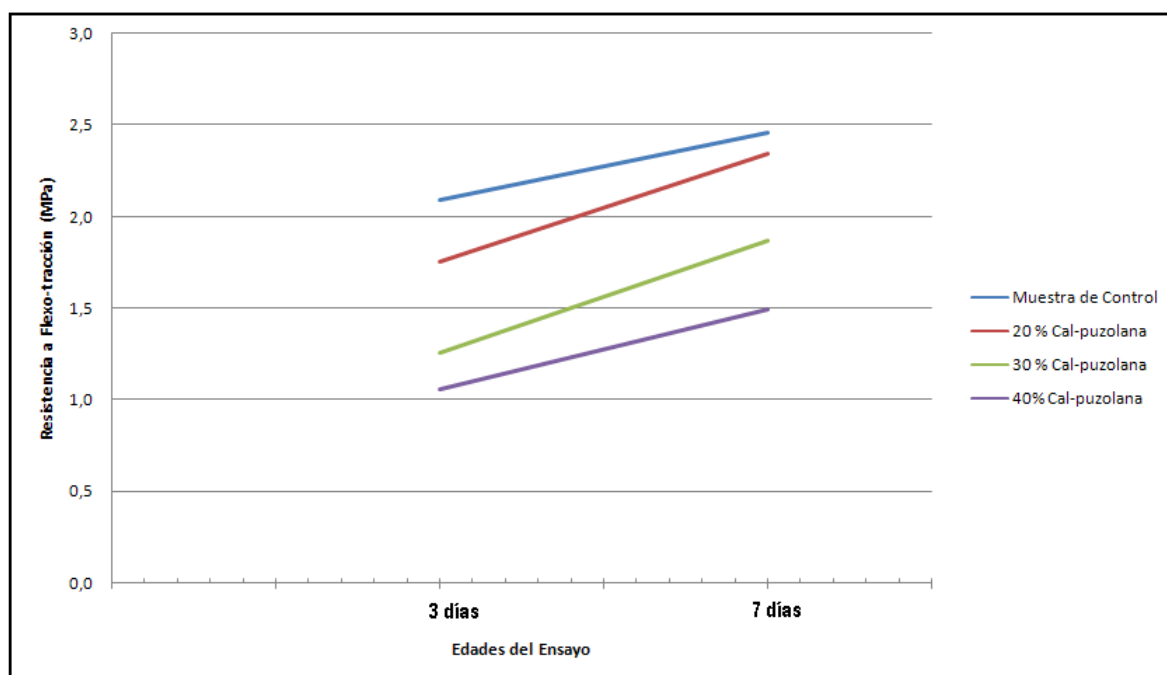


Fig. 51 Resistencia a Flexo-tracción Vs Edades de Ensayo.

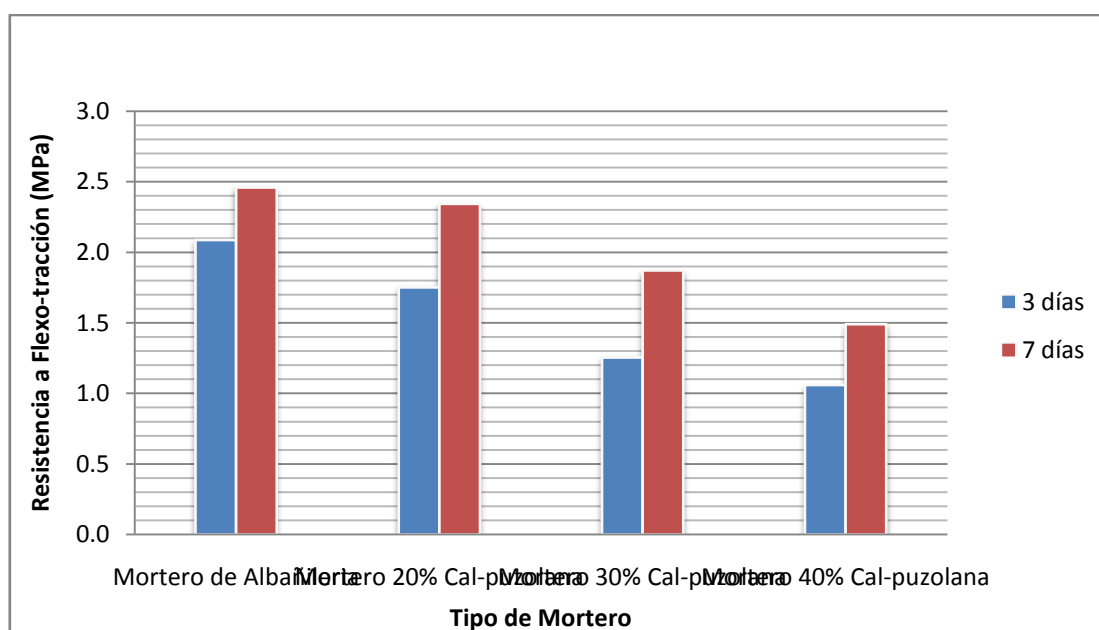


Fig. 52 Resistencia a Flexo-tracción Vs Edades de Ensayo.

Como se observa en los gráficos anteriores los resultados se muestran de forma similar tanto en la muestra de control (mortero de albañilería) como en los de sustitución, ya que la resistencia se incrementa con la edad de rotura, pero al mismo tiempo disminuye para mayores porcentos de sustitución. El detalle de los resultados de flexo-tracción se presenta en (Anexo 5)

4.4 Ensayo de porcentaje de absorción de agua y Porosidad.

En la siguiente tabla se muestra los resultados medios de la absorción de agua para los diferentes morteros.

Tabla 24 Resultados del % de absorción de agua de los morteros a los 3 y 7 días.

Tipo de Mortero	Edades de Ensayo (Días)	
	3 días	7 días
Muestra de Control	12,8	12,6
Mortero 20% Cal-puzolana	16,1	15,8
Mortero 30% Cal-puzolana	16,0	16,3
Mortero 40% Cal-puzolana	17,4	17,6

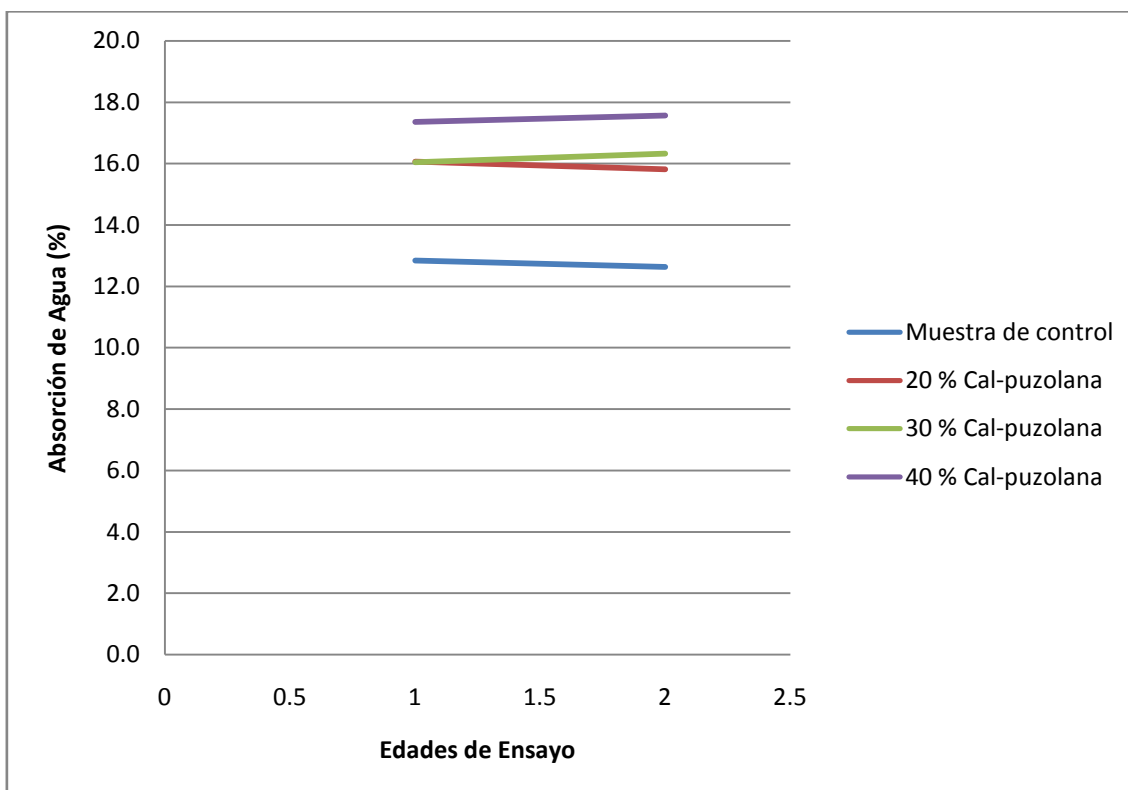


Fig. 53 Absorción de Agua (%) Vs Edades de Ensayo.

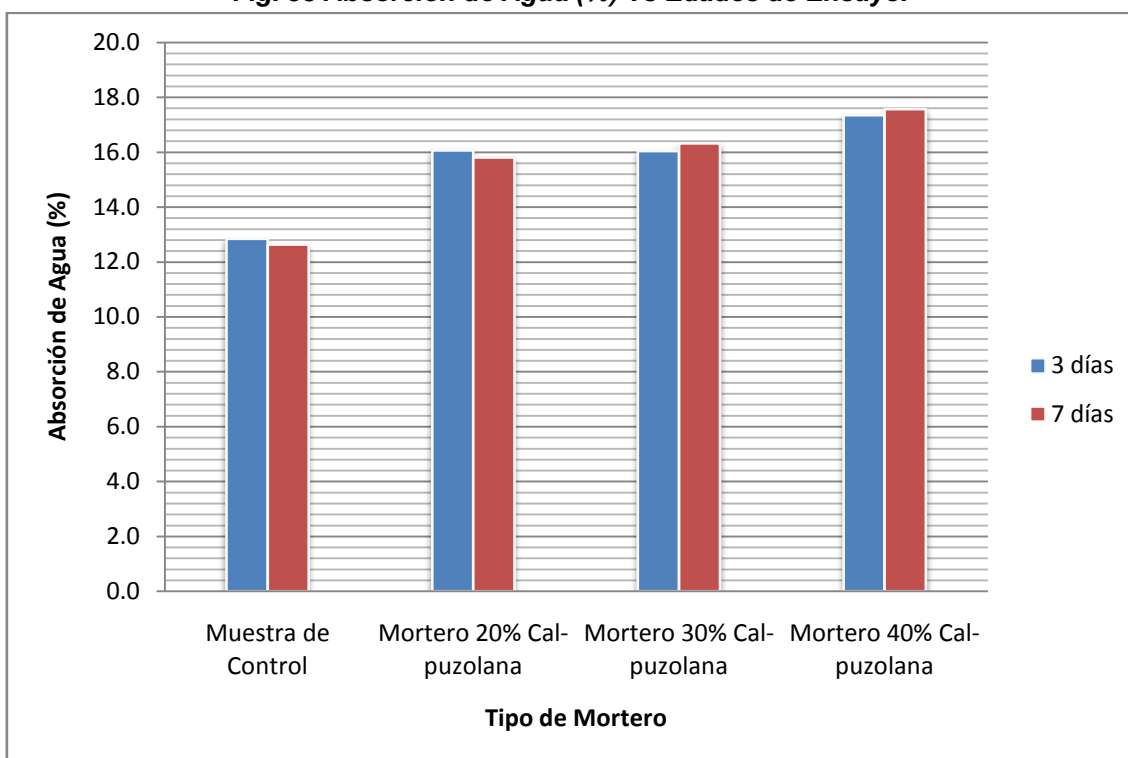


Fig. 54 Absorción de Agua (%) Vs Edades de Ensayo.

El comportamiento de la absorción de agua en los diferentes morteros, tiene variación mínima con el paso de los días, la muestra de control es apreciable un declive en la absorción de agua. De igual forma se puede observar que a medida que aumenta el porcentaje de sustitución, aumenta la absorción de agua para cada edad.

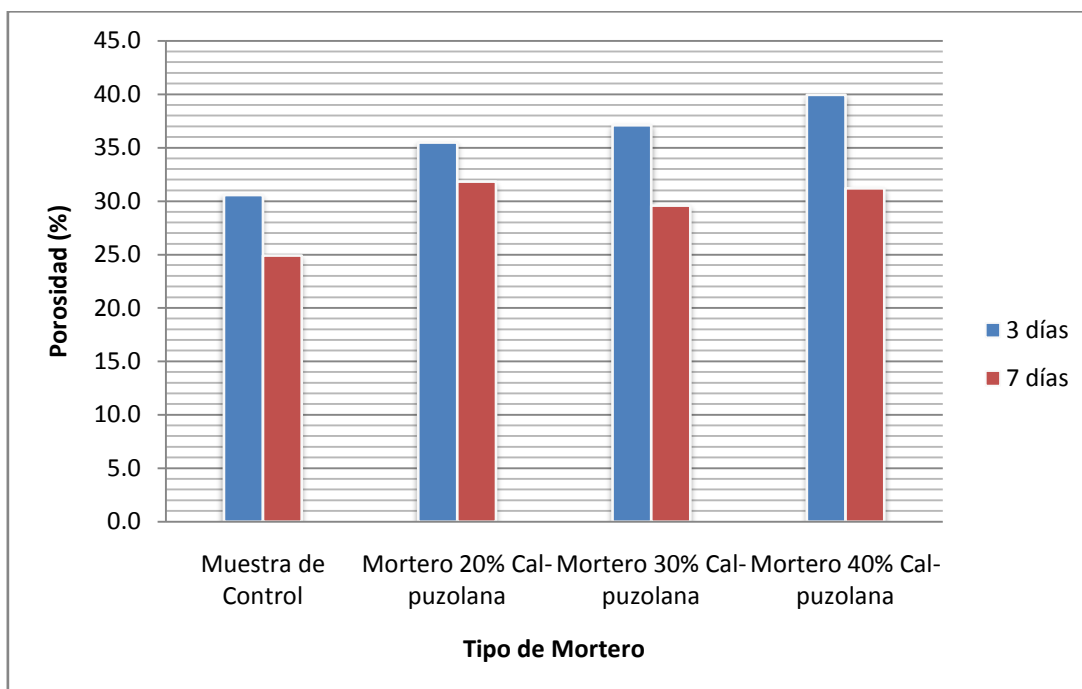


Fig. 55 Porosidad (%) Vs Tipo de Mortero.

El % de absorción de los morteros y la porosidad están relacionados de ahí que se comprueba la reciprocidad de estas dos propiedades, puesto que a mayor porosidad, mayor absorción de agua.

El detalle de los resultados de absorción en (Anexo 6) y porosidad se presenta en (Anexo 7)

4.5 ABSORCION CAPILAR

Tabla 24 Resultados de la absorción capilar (gr/cm^2) de los morteros a los 7 días.

Edad (días)	Tiempos medios	Tipos de Mortero			
		M. Control	20% Cal-puzolana	30% Cal-puzolana	40% Cal-puzolana
		Absorción Capilar (g/cm^2)			
7 días	1 min	0,01	0,01	0,03	0,03
	3 min	0,02	0,03	0,07	0,07
	5 min	0,04	0,03	0,06	0,08
	10 min	0,03	0,05	0,07	0,09
	15 min	0,02	0,03	0,10	0,12
	30 min	0,05	0,07	0,11	0,13
	1 h	0,08	0,08	0,13	0,15
	3 h	0,02	0,04	0,17	0,17
	24 h	0,21	0,21	0,27	0,28
	48 h	0,014	0,33	0,36	0,39
	72 h	0,019	0,41	0,43	0,46
Total		0,513	1,29	1,80	1,97



En la Tabla anterior se muestra los resultados de la absorción capilar para la edad de 7 días, con los tiempos medidos para dicho ensayo.

Este ensayo se recomienda realizar a los 28 días, pero debido a la falta de tiempo se realizó a los 7 días. Como se puede observar la absorción capilar se comporta de forma general ascendente, aunque con muy poca variación en los primeros tiempos, y aumentando notablemente a partir de las 24h. Además, a mayor porcentaje de sustitución la absorción es mayor, y nuevamente obtiene la mezcla de control los mejores resultados.

4.6 VALORACION ECONOMICA DE LOS MORTEROS DE ALBAÑILERIA Y MORTEROS DE SUSTITUCION POR AGLOMERANTE CAL PUZOLANA

Es importante primero identificar el rubro y las unidades de medida para los morteros en nuestro país. Para ello hemos consultado al MIDUVI que describe las especificaciones técnicas para los morteros considerando los distintos rubros de trabajo.

Para determinar una estimación económica es necesario tener las unidades correspondientes al rubro de morteros (*Anexo 8*).

RUBRO: Morteros
UNIDAD: m²

Pesos empleados para la elaboración de las probetas

Mortero de Albañilería

PESOS MA (gr.)	
CEMENTO	510
ARENA	1020
AGUA	300

Morteros de Sustitución por aglomerante Cal-Puzolana

MATERIAL	MSCP 20%(gr.)	MSCP 30%(gr.)	MSCP 40%(gr.)
CEMENTO	408	357	306
CAL	20.4	30.6	40.8
PUZOLANA	81.6	122.4	163.2
ARENA	1020	1020	1020
AGUA	310	320	330



Volúmenes empleados para la elaboración de las probetas

MA(cm ³)	MSCP 20%(cm ³)	MSCP 30%(cm ³)	MSCP 40%(cm ³)
831.5	851	861	871

Pesos necesarios para 1 m²

Mortero de Albañilería (Kg)

CEMENTO	12.23
ARENA	24.46
AGUA	7.22

Morteros de Sustitución por aglomerante Cal-Puzolana (Kg)

MATERIAL	MSCP 20%(Kg)	MSCP 30%	MSCP 40%
CEMENTO	9.78	8.56	7.34
CAL	0.49	0.74	0.98
PUZOLANA	1.96	2.93	3.91
ARENA	24.46	24.46	24.46
AGUA	7.29	7.43	7.58

Estimación de costos unitarios de los materiales

CEMENTO	0.135	\$/Kg
CAL	0.240	\$/Kg
PUZOLANA	16.25	\$/m ³ -Km
ARENA	25	\$/m ³

Comparación de Costos

Mortero	Costo (\$/m ²)
Albañilería	1.88
Sustitución CP 20%	1.64
Sustitución CP 30%	1.68
Sustitución CP 40%	1.71



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La ceniza volcánica del Tungurahua alcanzó valores superiores a lo establecido en la norma ASTM C 593 por lo cual puede considerarse como un material puzolánico. Además las muestras de ceniza estudiadas poseen una composición química dentro del promedio para las puzolanas, haciendo a este material interesante para la industria del cemento
- Aunque sirve como referencia, no basta con que los tres principales componentes de una puzolana sobrepasen 70 por ciento mínimo requerido por la norma ASTM C 618, sino que hacen falta otras características más para que el aditivo se constituya en un excelente material puzolánico, entre otras, que se posea una estructura mineralógica amorfa y una finura alta.
- El uso de un material puzolánico como sustitución en los porcentajes establecidos (20 al 40%) no afectan la fabricación de aglomerantes con la finalidad de sustituir parcialmente el contenido de cemento y supone un ahorro económico sin alterar sus capacidades técnicas, pues los valores resultantes de los ensayos indican que son morteros que se encuentran dentro del rango exigido por el código de mampostería ecuatoriano
- La reducción de la cantidad de cemento presenta ciertas ventajas: menor contracción y menor calor de hidratación. Sin embargo, si el contenido unitario de cemento es muy bajo, pueden verse comprometidas la trabajabilidad, la durabilidad y la resistencia a corto plazo.
- La ceniza volcánica del Tungurahua utilizada como sustitución en morteros u hormigones parece una propuesta atractiva debido a las reducciones en costos que representa ya que esta aplicación implicaría un menor consumo de cemento y el aprovechamiento de un material que representa una molestia para las personas que viven en los alrededores del volcán Tungurahua.
- Un producto puzolánico que pueda adicionarse separadamente a la cal y/o al cemento, permitiría a los ingenieros diseñar de forma ventajosa mezclas de acuerdo a las necesidades de la obra y abatir en mayor o menor medida costos o problemas de rendimiento de las



mezclas. La ceniza podría incorporarse durante la fase de fabricación para abaratar costo o separadamente como ya se mencionó

- Es importante continuar el estudio en orden a evaluar y optimizar las propiedades y características de esta ceniza con mayor amplitud.
- Si se realizan mezclas con mortero cal-puzolana, es importante que los materiales se mezclen de una manera íntima, ya sea con un medio mecánico o manual para obtener mejores resultados.
- A medida que la relación árido/aglomerante de los morteros de albañilería es más alta es más favorable la sustitución con mortero cal puzolana. Es recomendable a nivel local tomar una relación de 3 a 7, de acuerdo al cuadro de morteros.



BIBLIOGRAFIA

Apuntes correspondientes a la materia de Hormigones Especiales
Ing. Jorge Acevedo Catá, PhD

Tesis: *Determinación del Índice de Actividad Puzolánica de las Tobas originarias del yacimiento Guaramanao.*
Autor: Yeiner Hernández Gonzales.

Puzolanas
Álvaro López
Laboratorio Central de Ensayo de Materiales

Materiales de Construcción
Félix Orús Asso

Materiales de Construcción
Vicente Martínez Pastor

Revista Ingeniería de Construcción Vol. 23 No3, Diciembre de 2008
Juan José Dopico, Fernando Martirena Hernandez, Robert L. Day, Bernhard Middendorf, Matthias Gehrke, Lesday Martinez
www.ing.puc.cl/ric

PRODUCTOS disensa calizas Huayco

RTE INEN 007:2006 CEMENTOS CAL Y YESO

Manual de Laboratorio de Suelos
Joseph E. Bowles

La tecnología de los morteros
Rodrigo Salamanca Correa

Apreciación de la Actividad Puzolanica.
Ing. Manuel Gonzáles de la Coterá S.
ASOCCEM

Materiales aglomerantes
D. Bernardo de Granda y Callejas

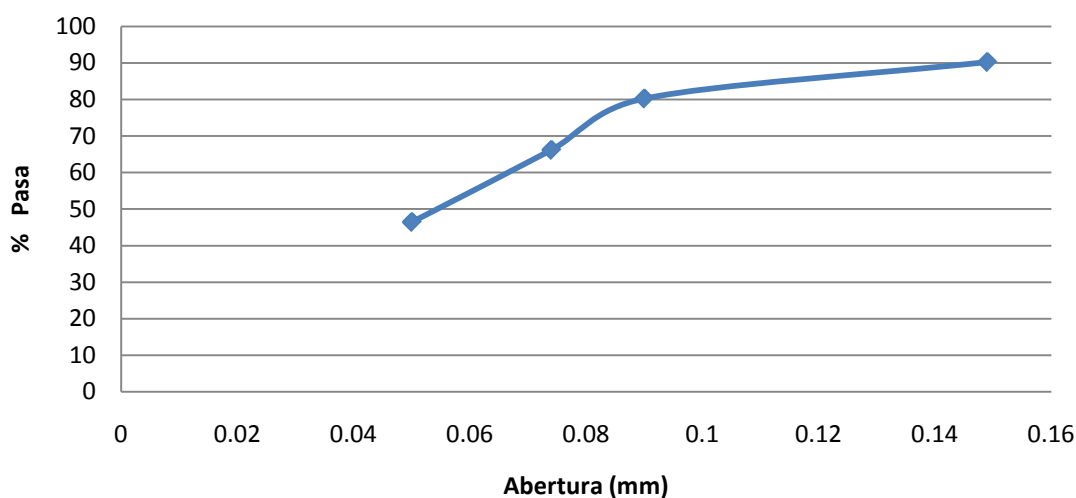
Materiales para Mampostería, (2004)
UNAM México
<http://N-CMT-2-01-004/02.pdf>.



ANEXOS

Anexo 1: Granulometría y Molida de la Ceniza Volcánica del Tungurahua**Granulometría de la Ceniza Volcánica Tungurahua.**

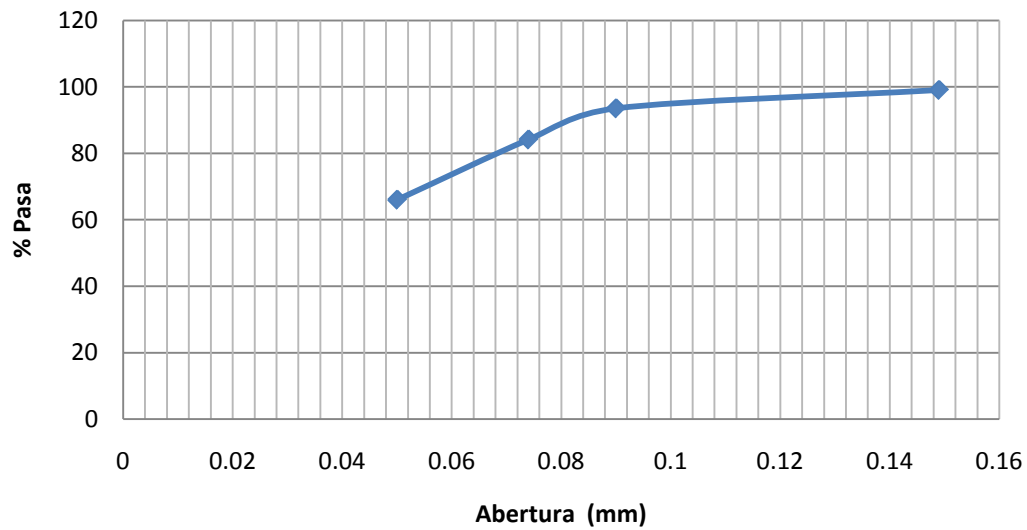
Tamiz		Peso Retenido	P. Ret. Acumulado	Ret. Acumulado	Mat. Pasado
# Tamiz	mm	(gr)	(gr)	(%)	(%)
100	0,149	14,7	14,7	10	90
90 micras	0,09	15,0	29,7	20	80
200	0,074	21,1	50,8	34	66
50 micras	0,05	29,6	80,4	54	46
Fondo		69,6	150	100	0

Granulometria de la Ceniza (Sin moler)

Tamiz		Peso Retenido	P. Ret. Acumulado	Ret. Acumulado	Mat. Pasado
# Tamiz	mm	(gr)	(gr)	(%)	(%)
100	0,149	1,4	1,4	1	99
90 micras	0,09	8,3	9,7	6	94
200	0,074	14,1	23,8	16	84
50 micras	0,05	27,2	51,0	34	66
Fondo		99,0	150,0	100	0

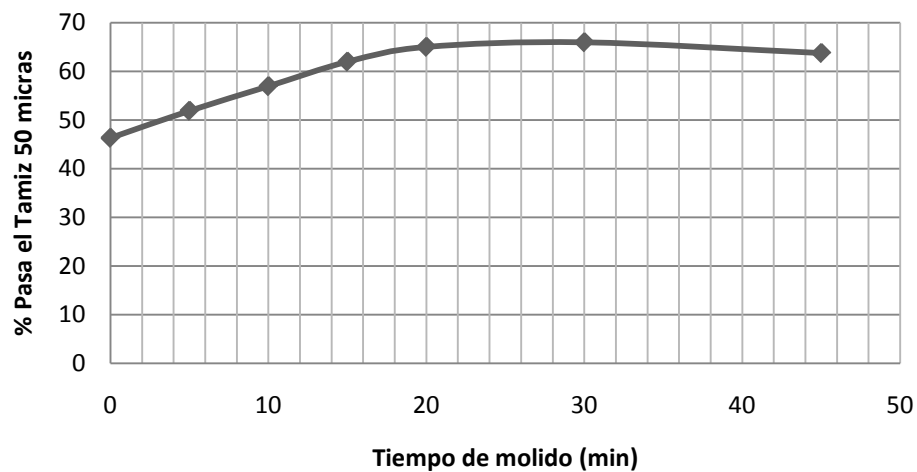


Granulometria Ceniza (molida)



Tiempo de Molida (min)	Mat. A Tamizar (g)	Mat. Pasado (g)	% Pasado
0	32	14,8	46
5	32	16,6	52
10	31,8	18,1	57
15	31,8	19,7	62
20	31,7	20,6	65
30	31,7	20,9	66
45	31,7	20,2	64

Molida de la Ceniza





Anexo 2: Dosificaciones de mortero de acuerdo al uso

TABLA 1.A. Cuadro de Morteros (partes para la mezcla).

TIPO	CEMENTO PORTLAND	A R E N A		C A L (Hidratada)	U S O
		Fina de 1 a 4 mm	Gruesa de 4 a 10 mm		
M ₁	1	1	2		Obras sanitarias. Pozos de revisión. Uniones de tubos de hormigón. Enlucido de obras sanitarias.
M ₂	1	2	1		Pavimentos. Masilla para colocar azulejos y baldosas. Masilla para fijar puertas y ventanas metálicas y tacos de madera.
M ₃	1		7		Cimientos. Zócalos. Mampostería de piedra, ladrillos y bloques de hormigón de 20 cm o más de espesor.
M ₄	1	2	3		Mampostería de ladrillos o bloques de hormigón de 10 a 20 cm de espesor.
M ₅	1	2	2		Mampostería de ladrillos o bloques de hormigón de menos de 10 cm de espesor.
M ₆	1	2	2	1	Masilla para revestimiento de losas de hormigón, una vez terminada la fundición.
M ₇	1	4	3		Enlucidos exteriores sobre muros de ladrillo, piedra u hormigón. Revocados.
M ₈	1	4	3	1	Enlucidos interiores sobre muros de ladrillos. Tumbados sobre malla metálica.
M ₉	1	5	5	2	Masilla para colocación de tejuelos en losas de cubierta o terrazas, para aislamiento térmico.



Anexo 3: Esfuerzos Exigidos a los Morteros de acuerdo a su Dosificación

TABLA 5. Esfuerzo básico de compresión para elementos de mampostería (durante y después de los tiempos fijados).

Serie No.	DESCRIPCION DEL MORTERO	MAXIMO (PARTES POR VOLUMEN)					Resistencia a la compresión del mortero a 28 días MPa (ver notas 4 y 5).	Tiempo de endurecimiento después de terminación del trabajo, en días	Esfuerzo básico en MPa (ver nota 5) correspondiente a unidades cuya resistencia a la rotura en MPa es:						
		Cemento	CAL (ver nota 3)	CAL Puzolana	Puzolana (ver nota 3)	ARENA			3,5	7	10,5	14	17,5	21	28
1	Cemento	1	1/4			3	5 y más	7	0,35	0,7	1,05	1,25	1,45	1,65	2,10
2	Cemento	1	1/2			4 1/2	5 y más	14	0,35	0,7	1	1,15	1,3	1,45	1,75
3	Cemento - Cal	1	1			6	3 a 5	14	0,35	0,7	1	1,1	1,2	1,3	1,6
4	Cemento - Cal	1	2			9	2 a 3								
5	Cemento	1				6	3 a 5	14	0,35	0,55	0,85	1	1,1	1,2	1,45
6	Mezcla de cal - puzolana			1		1,5	3 a 5								
7	Cemento - Cal	1	3			12	0,7 a 1,5	14	0,25	0,5	0,7	0,8	0,9	1	1,2
8	Cal hidráulica		1			2	—	14	0,25	0,5	0,7	0,8	0,9	1	1,2
9	Cal puzolana		1		1	2	0,7 a 1,5								
10	Cal		1			3	0,5 a 0,7	28	0,25	0,4	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75

NOTA 1. La tabla es válida para un índice de esbeltez de 6 y la carga con excentricidad 0.

NOTA 2. La interpolación lineal es admisible para unidades cuyas resistencias a la rotura son intermedias entre las dadas en la tabla.

NOTA 3. La cal debe cumplir con los requisitos de las Normas INEN 246, 247 y 248. La puzolana debe cumplir con los requisitos de la Norma INEN 494.

NOTA 4. Los valores de resistencia del mortero son sólo informativos.

NOTA 5. 1 MPa = 10 kgf/cm²



Anexo 4: Detalle de los resultados del ensayo a compresión

Morteros de albañilería y Morteros de Sustitución

Resultados de los ensayos realizados a los 3 días

Edad (días)	Mortero	Muestra	Resistencia Compresión (Mpa)	X	Dimensiones		Carga P
					a	b	
3	Muestra de Control	MA # 1	12,5	13,2	8	4	3987
		MA # 2	12,2		7,98	3,97	3878
		MA # 3	14,9		7,74	4,1	4732
	Mortero 20% Cal-Puzolana	MCP 20% # 1	12,9	12,2	7,1	4,2	3832
		MCP 20% # 2	12,1		7,8	4,05	3813
		MCP 20% # 3	11,5		7,9	4,2	3826
	Mortero 30% Cal-Puzolana	MCP 30% # 1	8,3	9,1	7,75	4,2	2705
		MCP 30% # 2	9,6		6,85	4,1	2686
		MCP 30% # 3	9,5		6,9	4,1	2691
	Mortero 40% Cal-Puzolana	MCP 40% # 1	5,6	6,0	7,8	4,3	1877
		MCP 40% # 2	6,0		8,1	3,9	1890
		MCP 40% # 3	6,3		7,1	4,2	1891



Resultados de los ensayos realizados a los 3 días

Edad (días)	Mortero	Muestra	Resistencia Compresión (Mpa)	X	Dimensiones		Carga P
					a	b	
7	Muestra de Control	MA # 1	15,4	17,4	7,2	4,1	4538
		MA # 2	18,5		7,2	4,1	5472
		MA # 3	18,4		7,1	4,2	5472
	Mortero 20% Cal-Puzolana	MCP 20% # 1	12,6	13,4	8,15	4,15	4255
		MCP 20% # 2	13,1		7,85	4,15	4259
		MCP 20% # 3	14,4		7,35	4,05	4286
	Mortero 30% Cal-Puzolana	MCP 30% # 1	11,8	12,0	7,9	4,2	3925
		MCP 30% # 2	12,1		7,75	4,15	3901
		MCP 30% # 3	12,1		7,8	4,15	3924
	Mortero 40% Cal-Puzolana	MCP 40% # 1	8,1	8,3	8,2	4,15	2743
		MCP 40% # 2	8,5		7,7	4,2	2739
		MCP 40% # 3	8,3		7,95	4,15	2732



Anexo 5: Detalle de los resultados del ensayo a flexo-tracción

Resultados de los ensayos realizados a los 3 días

Edad (días)	Mortero	Muestra	Flexo-tracción Compresión (MPa)	X	Dimensiones		Carga P
					h	b	
3	Muestra de Control	MA # 1	2,2	2,1	4,1	4	165
		MA # 2	1,9		4,2	3,97	146
		MA # 3	2,2		4,05	4,1	163
	Mortero 20% Cal-Puzolana	MCP 20% # 1	1,8	1,8	3,9	4,2	129
		MCP 20% # 2	1,7		4	4,05	122
		MCP 20% # 3	1,7		4	4,2	130
	Mortero 30% Cal-Puzolana	MCP 30% # 1	1,2	1,3	4,1	4,2	97
		MCP 30% # 2	1,2		4,2	4,1	96
		MCP 30% # 3	1,3		4	4,1	97
	Mortero 40% Cal-Puzolana	MCP 40% # 1	1,0	1,1	4	4,3	76
		MCP 40% # 2	1,2		3,9	3,9	76
		MCP 40% # 3	1,0		4	4,2	77



Resultados de los ensayos realizados a los 7 días

Edad (días)	Mortero	Muestra	Flexo-tracción Compresión (Mpa)	X	Dimensiones		Carga P
					h	b	
7	Muestra de Control	MA # 1	2,1	2,5	4,1	4,1	163
		MA # 2	2,6		4,2	4,1	211
		MA # 3	2,6		4,05	4,2	201
	Mortero 20% Cal-Puzolana	MCP 20% # 1	2,4	2,3	3,9	4,15	167
		MCP 20% # 2	2,3		4	4,15	169
		MCP 20% # 3	2,4		4	4,05	170
	Mortero 30% Cal-Puzolana	MCP 30% # 1	1,8	1,9	4,1	4,2	142
		MCP 30% # 2	1,8		4,2	4,15	150
		MCP 30% # 3	2,0		4	4,15	145
	Mortero 40% Cal-Puzolana	MCP 40% # 1	1,4	1,5	4	4,15	102
		MCP 40% # 2	1,6		3,9	4,2	113
		MCP 40% # 3	1,5		4	4,15	111



Anexo 6: Detalle de los resultados del ensayo de Absorción

Resultados de los ensayos realizados a los 3 días

Edad (días)	Mortero	Muestra	P sat-probeta (gr)	P sum-Probeta (gr)	P seco-probeta (24h) (gr)	Porciento de absorcion (%)	X
3	Muestra de Control	MA # 1	301,0	165,5	264,5	13,80	12,8
		MA # 2	298,2	164,4	267,1	11,64	
		MA # 3	313,0	171,8	276,8	13,08	
	Mortero 20% Cal-Puzolana	MCP 20% # 1	266,6	125,0	228,6	16,62	16,1
		MCP 20% # 2	289,1	140,2	250,2	15,55	
		MCP 20% # 3	303,2	139,5	261,3	16,04	
	Mortero 30% Cal-Puzolana	MCP 30% # 1	293,3	142,1	252,5	16,16	16,0
		MCP 30% # 2	300,3	144,2	258,1	16,35	
		MCP 30% # 3	296,1	149,0	256,1	15,62	
	Mortero 40% Cal-Puzolana	MCP 40% # 1	291,0	141,3	248,1	17,29	17,4
		MCP 40% # 2	274,5	134,0	234,4	17,11	
		MCP 40% # 3	309,2	146,0	262,8	17,66	
	Mortero 20% Cal-80%Puzolana	M.AC.PUZ # 1	221,2	106,3	189,2	16,91	17,0
		M.AC.PUZ # 2	261,5	124,1	223,4	17,05	
		M.AC.PUZ # 3	236,1	113,2	201,7	17,06	



Resultados de los ensayos realizados a los 7 días

Edad (días)	Mortero	Muestra	P sat-probeta (gr)	P sum-Probeta (gr)	P seco-probeta (24h) (gr)	Porciento de absorción (%)	X
7	Muestra de Control	MA # 1	297,8	163,9	261,9	13,71	12,6
		MA # 2	294,6	162,8	264,4	11,42	
		MA # 3	310,2	170,1	275,1	12,76	
	Mortero 20% Cal-Puzolana	MCP 20% # 1	263,0	140	226,4	16,17	15,8
		MCP 20% # 2	287,2	152,8	247,7	15,95	
		MCP 20% # 3	298,0	189,1	258,4	15,33	
	Mortero 30% Cal-Puzolana	MCP 30% # 1	291,4	153,2	250	16,56	16,3
		MCP 30% # 2	297,4	156,7	255,5	16,40	
		MCP 30% # 3	294,2	154,5	253,6	16,01	
	Mortero 40% Cal-Puzolana	MCP 40% # 1	288,1	141,9	245,6	17,30	17,6
		MCP 40% # 2	272,8	149,3	232,1	17,54	
		MCP 40% # 3	306,7	159,5	260,2	17,87	
	Mortero 20% Cal-80%Puzolana	M.AC.PUZ # 1	219,0	105,2	187,3	16,92	17,0
		M.AC.PUZ # 2	258,9	122,8	221,2	17,04	
		M.AC.PUZ # 3	233,8	113,1	199,7	17,08	



Anexo 7: Detalle de los resultados del ensayo de Porosidad

Resultados de los ensayos realizados a los 3 días

Edad (días)	Mortero	Muestra	P sat-probeta (gr)	P sum-Probeta (gr)	P seco-probeta (24h) (gr)	Porciento de Porosidad (%)	X
3	Muestra de Control	MA # 1	301,0	165,5	264,5	26,94	30,6
		MA # 2	298,2	164,4	267,1	30,28	
		MA # 3	313,0	171,8	276,8	34,48	
	Mortero 20% Cal-Puzolana	MCP 20% # 1	266,6	125,0	228,6	36,68	35,5
		MCP 20% # 2	289,1	140,2	250,2	35,36	
		MCP 20% # 3	303,2	139,5	261,3	34,40	
	Mortero 30% Cal-Puzolana	MCP 30% # 1	293,3	142,1	252,5	36,96	37,1
		MCP 30% # 2	300,3	144,2	258,1	37,05	
		MCP 30% # 3	296,1	149,0	256,1	37,35	
	Mortero 40% Cal-Puzolana	MCP 40% # 1	291,0	141,3	248,1	40,17	39,9
		MCP 40% # 2	274,5	134,0	234,4	39,94	
		MCP 40% # 3	309,2	146,0	262,8	39,73	
	Mortero 20% Cal-80%Puzolana	M.AC.PUZ # 1	221,2	106,3	189,2	38,60	38,6
		M.AC.PUZ # 2	261,5	124,1	223,4	38,37	
		M.AC.PUZ # 3	236,1	113,2	201,7	38,87	

Resultados de los ensayos realizados a los 7 días



Edad (días)	Mortero	Muestra	P sat-probeta (gr)	P sum-Probeta (gr)	P seco-probeta (24h) (gr)	Porciento de Porosidad (%)	X
7	Muestra de Control	MA # 1	297,8	163,9	261,9	26,81	24,9
		MA # 2	294,6	162,8	264,4	22,91	
		MA # 3	310,2	170,1	275,1	25,05	
	Mortero 20% Cal-Puzolana	MCP 20% # 1	263,0	140	226,4	29,76	31,8
		MCP 20% # 2	287,2	152,8	247,7	29,39	
		MCP 20% # 3	298,0	189,1	258,4	36,36	
	Mortero 30% Cal-Puzolana	MCP 30% # 1	291,4	153,2	250	29,96	29,6
		MCP 30% # 2	297,4	156,7	255,5	29,78	
		MCP 30% # 3	294,2	154,5	253,6	29,06	
	Mortero 40% Cal-Puzolana	MCP 40% # 1	288,1	141,9	245,6	29,07	31,2
		MCP 40% # 2	272,8	149,3	232,1	32,96	
		MCP 40% # 3	306,7	159,5	260,2	31,59	
	Mortero 20% Cal-80%Puzolana	M.AC.PUZ # 1	219,0	105,2	187,3	27,86	27,9
		M.AC.PUZ # 2	258,9	122,8	221,2	27,70	
		M.AC.PUZ # 3	233,8	113,1	199,7	28,25	



Anexo 8: Detalle del Rubro de morteros

RUBRO: Morteros

UNIDAD: m²

El mortero es la mezcla homogénea de cemento, arena y agua en proporciones adecuadas.

Los componentes de los morteros se medirán por volumen mediante recipientes especiales de capacidad conocida.

Se mezclarán convenientemente hasta que el conjunto resulte homogéneo en color y plasticidad, tenga consistencia normal y no haya exceso de agua.

Prohíbese terminantemente el uso de carretillas para la dosificación o medida de los volúmenes de materiales que entran en los morteros.

El mortero podrá prepararse a mano o con hormigonera según convenga de acuerdo con el volumen que se necesita.

En el primer caso la arena y el cemento en las proporciones indicadas, se mezclará en seco hasta que la mezcla adquiera un color uniforme, agregándose después la cantidad de agua necesaria para formar una pasta trabajable. Si el mortero se prepara en la hormigonera tendrá una duración mínima de mezclado de 1½ minutos. El mortero de cemento debe ser usado inmediatamente después de preparado, por ningún motivo debe usarse después de 40 minutos de preparado, ni tampoco rehumedecido, mucho menos de un día para otro.

La dosificación de los morteros varía de acuerdo a las necesidades siguientes:

a. Masilla de dosificación 1:0, utilizada regularmente para alisar los enlucidos de todas las superficies en contacto con el agua.

b. Mortero de dosificación 1:2 utilizada regularmente en enlucidos de obras de captación, superficies bajo agua, enlucidos de base y zócalos de pozos de revisión. Con impermeabilizante para enlucidos de fosas de piso e interiores de paredes de tanques de distribución.

c. Mortero de dosificación 1:3 utilizado regularmente en enlucidos de superficie en contacto con el agua, enchufes de tubería de hormigón, exteriores de paredes de tanques de distribución.

d. Mortero de dosificación 1:4 utilizado regularmente en colocación de baldosas (cerámica, cemento, granito, gres y otras) en paredes y preparación de pisos para colocación de vinyl.

e. Mortero de dosificación 1:5 utilizado regularmente en embaldosado de pisos, mampostería bajo tierra, zócalos, enlucidos de cielos rasos, cimentaciones con impermeabilizantes para exteriores de cúpulas de tanques.

f. Mortero de dosificación 1:6 utilizado regularmente para mamposterías sobre el nivel de terreno y enlucidos generales de paredes.



g. Mortero de dosificación 1:7 utilizado regularmente para mamposterías de obras provisionales.

MEDICIÓN Y PAGO

Se medirá en metros cuadrados como unidad y para su pago cuantificará según lo ejecutado en obra, hasta una aproximación de dos decimales.